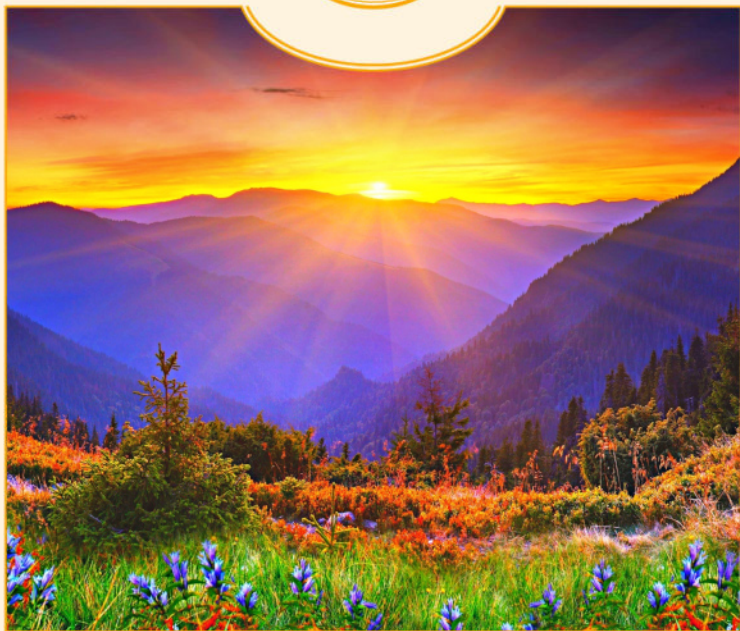


VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

2



Научно-популярное издание
под ред. В. Воронцова

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

Происхождение жизни на Земле на сегодняшний день является, пожалуй, самым сложным вопросом для науки. В учебниках вы можете прочитать о различных теориях и гипотезах на этот счёт, но подавляющее большинство авторов отдают предпочтение теории абиогенеза. Как сегодня выглядит эта теория? Какие доказательства накопила наука в её поддержку за последнее время? Каковы перспективы её дальнейшего развития и есть ли ей серьёзные альтернативы? На эти и многие другие вопросы, связанные с гипотезами происхождения жизни, мы постарались дать ответ в этой книге. В ней вы найдёте исчерпывающую информацию о зарождении и развитии эволюционных взглядов на происхождение жизни; узнаете о достижениях и проблемах теории абиогенеза, а также тех задачах, которые ставит перед ней современная наука. Книга насыщена множеством цитат известных учёных-специалистов в области молекулярной биологии, биохимии, биофизики, микробиологии. Получив полную информацию о современном состоянии наиболее распространённых теорий и гипотез происхождения жизни, вы сможете самостоятельно дать им оценку.

Книга написана на простом, доступном для неспециалиста языке, содержит множество справочной информации и разъясняет сложные определения и понятия. Издание будет полезно преподавателям и учащимся средних и высших учебных заведений, а также всем тем, кто интересуется вопросами мироздания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЗГЛЯДОВ НА ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ.....	8
1.1 Теории быстрого самозарождения.....	8
ДРЕВНИЕ БОГОСЛОВЫ И САМОЗАРОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ.....	9
1.2 Крах теории быстрого самозарождения.....	11
1.3 Теория постепенного самозарождения (абиогенеза).....	13
НЕМНОГО ИСТОРИИ: ЭРНСТ ГЕККЕЛЬ И МОНЕРЫ.....	14
2. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ: ВЗГЛЯД СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ.....	18
2.1 Случайно или закономерно?.....	18
2.2 Газовый состав первичной атмосферы.....	19
ОТКУДА НА ЗЕМЛЕ КИСЛОРОД.....	21
2.3 Первичный бульон.....	23
2.3.1 Синтез аминокислот.....	23
2.3.2 Синтез азотистых оснований.....	23
2.3.3 Синтез сахаров.....	25
2.3.4 Устойчивость органических соединений.....	25
2.4 Специфические условия синтеза.....	26
2.5 Хиральная чистота живого.....	26
2.6 Синтез белков и нуклеиновых кислот.....	28
2.6.1 Проблемы синтеза белка.....	29
2.6.2 Проблема синтеза нуклеиновых кислот.....	30
2.6.2.1 Синтез нуклеозидов.....	30
2.6.2.2 Синтез нуклеотидов.....	31
2.6.2.3 Полимеризация нуклеотидов.....	34
2.7 Курица или яйцо?.....	35
РЕПЛИКАЦИЯ ДНК: ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА.....	36
2.8 «Мир РНК» и связанные с ним проблемы абиогенеза.....	39
2.8.1 Проблема скорости репликации.....	40
2.8.2 Проблема точности копирования.....	41
2.8.3 Проблема репарации.....	42
2.8.4 Проблема праймеров.....	45
2.8.5 Проблема катализаторов.....	45
2.8.6 Проблема активации и реактивации.....	45
2.8.7 Проблема гидролиза.....	46
2.8.8 Проблема раскрытия двойной спирали.....	46

2.8.9 Проблема зависимости репликации от последовательности нуклеотидов в матрице.....	47
2.8.10 Другие проблемы (мешающее влияние, хиральность, водный парадокс).....	47
2.8.11 Неестественные условия экспериментальной проверки.....	49
2.8.12 Проблема перехода «мира РНК» к белок-синтезирующему миру	49
2.8.13 Подводя итог гипотезы «мира РНК».....	50
2.9 Происхождение информации.....	53
2.10 Происхождение белоксинтезирующей системы.....	58
КАК РАБОТАЕТ ГЕН: НЕКОТОРЫЕ ПОДРОБНОСТИ.....	59
2.11 Парадокс миллиона обезьян.....	63
2.11.1. Жизнь начинается с химической реакции.....	64
2.11.2 Назад к панспермии.....	65
2.11.3. «Жизнь не могла возникнуть случайно!».....	67
НАСКОЛЬКО ПРОСТЫ САМЫЕ ПРОСТЫЕ ОРГАНИЗМЫ.....	67
2.11.4. Гипотеза множественности форм жизни.....	69
2.12 «Замкнутый круг» в проблеме абиогенеза.....	69
2.12.1. Происхождение биологических мембран.....	70
2.12.2. Питание и энергообеспечение клеточных систем.....	71
АТФ-СИНТАЗА: ДЕТАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ.....	72
2.12.3. Регуляция солевого состава клетки.....	74
2.13 Главнейшая проблема абиогенеза – самоорганизация живых систем.....	74
ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ.....	77
2.14 Фактор времени.....	83
2.15 Второй закон термодинамики.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	86
Список использованной литературы.....	90

ВВЕДЕНИЕ

Ни для кого не секрет, что вопрос происхождения жизни в современной науке до сих пор остаётся открытым. Эволюционная теория происхождения жизни – теория абиогенеза, предложенная в качестве возможного решения данной мировоззренческой проблемы, – стремительно теряет свою популярность. Получив огромный толчок к развитию в середине 50-х годов XX в. уже спустя три десятилетия она практически перестала быть предметом широкомасштабных научных исследований. А сегодня многие ведущие научные журналы мира, например «Журнал общей биологии» Российской академии наук (РАН), принципиально не принимают статей, посвящённых этой тематике. (Точно так же, как лингвистические журналы не принимают статей на тему «Происхождения языка», а физические – «Проекты вечного двигателя»). Причины таких явлений вполне понятны: мы можем сколько угодно рассуждать о возможных путях происхождения жизни, но доказать их осуществимость (даже потенциальную) по всей видимости не сумеем никогда. «Наука имеет дело лишь с неединичными, повторяющимися явлениями, – пишет российский учёный, зоолог и палеонтолог Кирилл Еськов, – вычленяя их общие закономерности и частные особенности; биологическая эволюция, например, является предметом науки лишь постольку, поскольку представлена совокупностью отдельных эволюционных актов. Между тем, такие явления, как жизнь и разум, пока известны нам как уникальные, возникшие однократно в конкретных условиях Земли. И до тех пор, пока мы не разрушим эту уникальность (например, обнаружив жизнь на других планетах, или синтезировав реального гомункулуса), проблема возникновения жизни, строго говоря, обречена оставаться предметом философии, богословия, научной фантастики – всего, чего угодно, но только не науки: невозможно строить график по единственной точке. Именно поэтому большинство биологов относится к обсуждению этой проблемы с нескрываемой неприязнью: профессионалу, заботящемуся о своей репутации, всегда претит высказывать суждения в чужой для себя области» (Еськов, 2014).

Однако не следует думать, что интерес к абиогенезу пропал только по причине его уникальности невоспроизводимости. В результате длительного моделирования и экспериментирования многие учёные пришли к выводу о невозможности этого процесса не только с практической, но даже с теоретической точки зрения. Российский учёный из Института космических исследований РАН, профессор Л. Мухин на одной из конференций по проблемам происхождения жизни отметил: «Закончить я бы хотел одним любопытным фактом. Была жуткая вспышка энтузиазма в 1950-х гг. на

первой конференции по происхождению жизни. После этого 90% работ по этой проблематике поддерживали эволюционную идею. Однако трудности этого вопроса оказались столь велики, что в 2006 г. число публикаций, посвященных искусственному зарождению жизни на Земле т. е., связанному с идеей творения, оказалось близко к 80%. (Таково мировоззренческое значение проблем происхождения жизни)...» (Мухин, 2009).

Даже те учёные, которые посвятили многие годы кропотливой работы разработке теории абиогенеза, коренным образом меняют своё отношение к ней. Ярким примером тому стал профессор факультета молекулярной и клеточной биологии университета в Сан-Франциско Дин Кеньон. На протяжении многих лет он являлся ярким сторонником теории абиогенеза. Совместно с биохимиком, доктором Г. Стейнманом из Пенсильванского университета он поставил себе задачу собрать все известные на тот момент данные по моделированию химической эволюции. Результаты их исследования были опубликованы в 1969 г. в фундаментальной монографии «Биохимическое предопределение». В 1972 г. эта книга была переведена на русский язык и издана под редакцией и с предисловием самого академика Александра Опарина. До настоящего момента это исследование профессора Кеньона являлось одним из основных мировых учебных пособий по абиогенезу. Долгое время Кеньон преподавал абиогенез в одном из университетов США. Однако в конце 1980-х гг. его взгляды на происхождение жизни коренным образом изменились. В ходе своих дальнейших исследований он пришёл к твёрдому убеждению в несостоятельности этой теории. С этого времени Кеньон опубликовал множество статей по критике абиогенеза, и примкнул к лагерю её оппонентов. Его примеру следуют и другие учёные.

Однако следует отметить, что остаётся достаточно много учёных, которые не согласны с таким подходом и считают, что эволюционную модель зарождения жизни не стоит столь быстро сбрасывать со счетов. Ведь наука движется вперёд и время от времени приходится слышать о новых «обнадеживающих результатах» в этой области.

Кто же из них прав? С какими проблемами мы сталкиваемся, пытаясь превратить «живые» молекулы в живые организмы? Действительно ли между живой и неживой материей существует непреодолимая пропасть? Если да, то что тогда представляет собой само явление жизни?

На эти и многие другие вопросы, связанные с гипотезами происхождения жизни, мы постарались дать ответ в этой книге. В ней вы найдёте исчерпывающую информацию о зарождении и развитии эволюционных взглядов на происхождение жизни; узнаете о достижениях и проблемах теории абиогенеза, а также тех задачах, которые ставит перед ней современная наука. Книга насыщена множеством цитат известных учёных-специалистов в

области молекулярной биологии, биохимии, биофизики, микробиологии. Получив полную информацию о современном состоянии наиболее распространённых теорий и гипотез происхождения жизни, вы сможете самостоятельно сделать вывод о их месте в научной картине мира и определить, прежде всего для себя, их дальнейшие перспективы.

Книга написана на простом, доступном для неспециалиста языке, содержит множество справочной информации и разъясняет сложные определения и понятия. Издание будет полезно преподавателям и учащимся средних и высших учебных заведений, а также всем интересующимся вопросами мироздания.

1. ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЗГЛЯДОВ НА ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

1.1 Теории быстрого самозарождения

Начиная ещё с древних времён в мире было весьма широко распространено представление о том, что различные формы жизни постоянно самозарождаются из неживой материи. «Таковы факты, – писал Аристотель, – живое может возникать в результате не только спаривания животных, но и разложения почвы... Так же обстоит дело и у растений: некоторые развиваются из семян, а другие как бы самозарождаются под действием сил природы, возникая из разлагающейся земли, отбросов или из определённых частей растений».



В древние времена представления о том, что живые организмы могут самозарождаться (например, из земли) были популярны не только среди простых людей, но и среди известных учёных и даже богословов

Множество описаний спонтанного возникновения живых организмов мы находим у авторов времён позднего Рима, а также в работах, относящихся к Средневековью, в творениях выдающихся богословов и философов, в частности, Василия Великого и Альберта Великого. Василий Великий в своём «Шестоднев» утверждает, что насекомые, лягушки, угри и мыши возникают самопроизвольно, прямо из Земли, в жаркую влажную погоду: «...она [земля] производит кузнечиков в дождливое время, и тысячи других

пород пернатых, носящихся по воздуху, из которых большая часть, по малости своей, не имеют и имени, но из себя же даёт мышей и жаб. Около Египетских Фив, когда в жару идёт много дождя, вся страна наполняется вдруг полевыми мышами. Видим, что угри не иначе образуются, как из тины. Они размножаются не из яйца и не другим каким-либо способом, но из земли получают своё происхождение» (Василий Великий, 2010). 1 —>

В большинстве описаний спонтанного зарождения речь идет о животных, но Альберт Великий описывает также самопроизвольное зарождение различных грибов, кустарников и даже деревьев.

В XVI и XVII вв. в изучении природы произошёл резкий перелом – от философских рассуждений и непосредственного наблюдения к обдуман-ным систематическим исследованиям в лаборатории. Такое развитие экс-

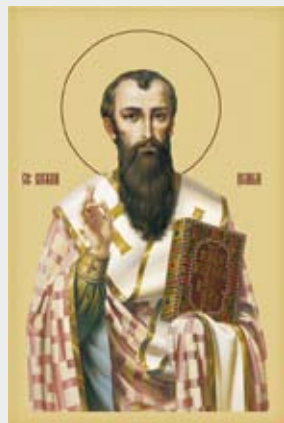
периментального подхода на первых порах ничуть не поколебало представлений о спонтанном зарождении живого. Более того, помимо сообщений о случаях спонтанного зарождения, наблюдавшихся в природе, «научная» литература обогатилась прописями, иногда весьма детальными, искусственного получения различного рода живых организмов. Так, голландский учёный Ян ван Гельмонт (1579–1644) демонстрировал простой и надёжный способ получения мышей. Для этого он набивал кувшин потным бельём, добавлял туда немного пшеницы и приблизительно через три недели получал живых мышей.

Другой натуралист – Гриндель фон Ах – стал очевидцем удивительного явления самозарождения лягушки: «Хочу описать появление на свет лягушки, которое мне удалось наблюдать при помощи микроскопа. Однажды я взял каплю майской росы и, тщательно наблюдая за ней под микроскопом, заметил, что у меня сформировывается какое-то существо. Прилежно наблюдая на второй день, я заметил, что появилось уже туловище, но голова ещё казалась не ясно сформированной; продолжая свои наблюдения на третий день, я убедился, что наблюдаемое мною существо есть не что иное, как лягушка с головой и ногами. Прилагаемый рисунок всё поясняет».

ДРЕВНИЕ БОГОСЛОВЫ И САМОЗАРОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ



Может показаться странным, что средневековые учёные, в том числе и богословы, будучи сторонниками библейского учения о творении мира, могли верить в самопроизвольное зарождение жизни, ведь, согласно Библии, Бог сотворил жизнь однажды, а затем повелел ей размножаться и таким образом (и никак иначе!) наполнять землю. Однако ничего удивительного в этом не было. Самопроизвольное появление живых организмов из мёртвой материи казалось настолько очевидным, что средневековые богословы научились обходить это противоречие. В библейском описании творения указано, что различные виды живых существ по воле Бога производила мёртвая материя: земля и вода. Следовательно, полагали они, после сотворения первых форм жизни Бог как бы придал природе самодвижение: отныне земля начала производить растения, а вода – «душу живую». Таким образом, самозарождение жизни рассматривалось уже как вторичное явление, несколько не противоречащее Библии (Шустова, 2009).



Отцы православной и католической церкви, как и многие люди того времени, верили в спонтанное зарождение жизни. На рисунке: Василий Великий

Ряд сочинений XVI и XVII веков подробно описывает превращение воды, камней и других неодушевлённых предметов в пресмыкающихся, птиц и зверей.

По мнению учёных того времени, зарождение жизни происходило под действием «активного начала», или «жизненной силы» (лат. «vis vitalis»), присутствующей в воздухе, солнечном свете, речном иле и т. д. Ван Гельмонт, поясняя свои опыты по получению мышей, говорил, что активное начало содержится в человеческом поте, который проходит через пшеничную шелуху и превращает зёрна в животных.



Опыт Фанческо Реди, опровергающий гипотезу самозарождения личинок мух в мясе

Против теории самозарождения в XVII в. выступил итальянский биолог и врач Франческо Реди (1626–1697). В 1688 году он доказал, что «черви» (личинки мух) не могут зарождаться в мясе, как считали ранее. «В середине июля, – писал Реди, – я взял четыре больших сосуда с широким горлом, поместил в один из них змею, в другой – немного рыбы, в третий – угрей, в четвертый – кусок молочной телятины, плотно закрыл их и запечатал. Затем я поместил то же самое в четыре других сосуда, оставив их открытыми... Вскоре мясо и рыба в незапечатанных сосудах зачервивели; можно было видеть, как мухи

свободно залетают в сосуды и вылетают из них. Но в запечатанных сосудах я не видел ни одного червяка, хотя прошло много дней, после того как в них была положена мёртвая рыба».

Опыты Реди серьёзно поколебали господствовавшую идею самозарождения, однако к полному отказу от неё не привели. После открытия в 1676 г. А. ван Левенгуком микроорганизмов именно они стали основным объектом спора о зарождении жизни, поскольку логичным представлялось, что в первую очередь к самозарождению способны наиболее примитивно устроенные живые существа.

Разрешить этот вопрос попытался английский натуралист Джон Нидхем (1713–1781). В стеклянных колбах он готовил различные бульоны, затем кипятил их в течение нескольких минут и плотно закрывал пробками. Вскоре во всех сосудах появлялись микроорганизмы. Это привело его к заключению, что микроорганизмы способны спонтанно возникать из неживого органического вещества.

Опыты Нидхема повторил итальянский естествоиспытатель Ладза-

ро Спалланцани (1729–1799). Его опыты внешне не отличались от таковых Нидхема, за исключением того, что Спалланцани закрывал сосуд пробкой не после, а до кипячения, а само кипячение длилось не несколько минут, а значительно дольше – от 30 мин. до 1 ч. В таких сосудах после выдерживания в течение нескольких дней не было обнаружено никаких микроорганизмов. Спалланцани сделал вывод, что эксперименты Нидхема были недостоверными. Микроорганизмы в его настои могли попасть из воздуха (поскольку сосуды закрывали пробками после кипячения), либо погибали не все первоначально содержащиеся клетки из-за недостаточно длительного кипячения. Спалланцани под микроскопом удалось наблюдать деление микроба на две одинаковые дочерние клетки, каждая из которых также делилась надвое. Всё сказанное позволило итальянскому учёному утверждать, что микроорганизмы возникают не в результате самозарождения, а происходят от себе подобных. Выводы Спалланцани, однако, не поколебали веры Нидхема и его сторонников в самозарождение. Нидхем объяснил отрицательные результаты, полученные Спалланцани, тем, что тот подвергал свои настои слишком жесткой обработке, в результате которой разрушалась их «жизненная сила» (Кеньон, 1972).



В XVIII веке среди учёных разгорелся спор о способности к самозарождению микроорганизмов. На рисунке: бактерии в электронном микроскопе (компьютерная раскраска)

1.2 Крах теории быстрого самозарождения

Принимая во внимание огромный интерес к проблеме самозарождения, Французская академия наук в 1859 г. назначила специальную премию за её решение. В 1862 г. эту премию получил французский учёный Луи Пастер (1822–1895). Серией четко поставленных опытов он доказал, что микроорганизмы не возникают самопроизвольно. Особенно изящными были его опыты, проведённые в колбах с S-образными горлами. В такие колбы наливали подсахаренную дрожжевую воду. Если колбы прокипятить, а затем осторожно охладить, то они остаются стерильными неопределённо долгое время, несмотря на то, что не закрыты пробками. Если же удалить S-образный участок горла, то спустя несколько дней в такой колбе будет



Своим наглядным опытом Луи Пастер доказал невозможность самозарождения микроорганизмов. На рисунке: картина Р. Тома «Пастер: химик, совершивший переворот в медицине», 1955

наблюдаться бурное развитие микроорганизмов. Через S-образное горло воздух может легко поступать в колбу, но содержащиеся в воздухе микроорганизмы задерживаются в изгибах горла, оседая на его стенках. После удаления S-образной части горла микроорганизмы прямо попадают в колбу и начинают быстро развиваться. Этим простым опытом Пастер опроверг возражение о разрушении при нагревании таинственной «жизненной силы», содержащейся в питательной среде и в обычном (непрогретом) воздухе. Он доказал, что «самозарождение» в большинстве опытов происходит в результате попадания в стерилизованные питательные среды микроорганизмов из воздуха. В присущем ему пышном стиле Пастер провозгласил: «Доктрина о самозарождении жизни никогда не оправится от смертельного удара, нанесённого этим простым экспериментом!».

Опыты Пастера произвели огромное впечатление на научную общественность того времени. Стало ясно, что живые организмы, какими бы простыми они ни были, не могут возникнуть путём самозарождения. Для многих это открытие стало своего рода доказательством существования Высшего разума. Однако поиски источника жизни на этом не прекратились*.

В 1865 г. немецкий учёный Герман Рихтер предпринял попытку возродить идею космического посева, высказанную ещё в V в. до н. э. греческим философом Анаксагором. Согласно этой гипотезе, жизнь существует вечно

* Как справедливо отметил Ф. Энгельс, «опыты Пастера в этом отношении бесполезны: тем, кто верит в возможность самозарождения, он никогда не докажет одними этими опытами невозможность его» (Энгельс, 1953).

и рассеяна в космическом пространстве в виде спор. Попадая на планеты, пригодные для жизни, они начинают прорастать и развиваться. На нашу планету семена жизни могли попасть с частичками пыли или метеоритами. Теория Рихтера получила название панспермии (греч. «pan» – всюду, «sperma» – семя) и, несмотря на то, что по сути не отвечала на вопрос первоначального происхождения жизни, сразу же завоевала большую популярность, особенно в атеистической среде.



Согласно одной из гипотез, жизнь рассеяна в космосе в виде спор и попала на Землю с метеоритами

1.3 Теория постепенного самозарождения (абиогенеза)

Примерно в это же время английский естествоиспытатель Томас Гексли (1825–1895) выдвинул другую теорию появления жизни на Земле. По Гексли, существование жизни зависит от определённых молекул, таких как молекулы углекислоты, воды и соединений азота. Эти вещества, являющиеся строительными блоками жизни, сами по себе мертвы, однако, если их собрать воедино, они дают начало протоплазме. Такое событие могло произойти в далёком прошлом, «когда Земля находилась в таких физических и химических условиях, которые нельзя увидеть снова». Теория Гексли получила название абиогенеза (греч. «a» – отрицательная приставка, «bios» – жизнь, «genesis» – происхождение).

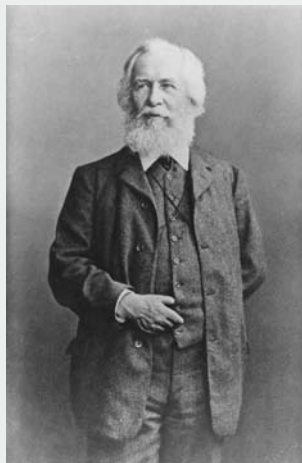
Первоначально этой теории придерживались лишь немногие учёные. Однако на неё обратил внимание Ч. Дарвин. В 1871 г. он писал: «Часто говорят, что все необходимые для создания живого организма условия, которые могли когда-то существовать, имеются и в настоящее время.



Томас Гексли – автор теории абиогенеза

Но если даже представить себе (а это весьма большое «если»!), что в каком-нибудь небольшом тёплом водоёме, содержащем всевозможные аммонийные и фосфорные соли, при наличии света, тепла, электричества образовался бы химическим путём

НЕМНОГО ИСТОРИИ: ЭРНСТ ГЕККЕЛЬ И МОНЕРЫ



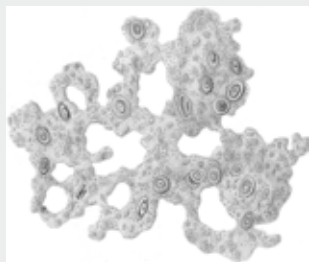
Эрнст Геккель

Одним из приверженцев абиогенеза был влиятельный немецкий учёный, профессор зоологии Э. Геккель (1834–1919). В своё время он высказал идею о существовании примитивных живых организмов – «бесформенных комочков протоплазмы без ядер, размножавшихся путём деления» и представляющих собой нечто среднее между неживой материей и известными науке формами одноклеточных организмов. Геккель назвал эти предполагаемые существа монерами и даже поместил в одной из своих книг рисунки с теми деталями строения монер, которые, по его мнению, у них должны присутствовать.

В 1868 г., как раз в год опубликования этих рисунков, Т. Гексли изучал образцы ила, поднятого со дна Атлантического океана десятью годами ранее. Когда Гексли рассматривал пробы в первый раз, то выявил там лишь известные формы жизни. Однако теперь, просматривая эти же образцы, только за-

фиксированные спиртом, он обнаружил некие «слизистые капельки». Гексли решил, что он нашёл те самые комочки протоплазмы – монеры, о которых говорил Геккель, и назвал их *Bathybius haeckelii* (в честь автора). Он писал, что монеры представляют собой жизнь в процессе возникновения, которая «непрерывно образует пену из живой материи... на морском дне... опоясывающем всю поверхность Земли». Эту весть растиражировали многие научные и научно-популярные издания. Геккель был чрезвычайно рад находке и часто упоминал о ней в своих работах.

Однако следующая экспедиция, исследовавшая дно Мирового океана в течение 3-х лет, не смогла обнаружить пресловутых монер ни в одной из отобранных проб, что было весьма странно. В 1875 г. выяснилось, что монеры являются не чем иным, как комочками гипса (сульфатом кальция), образующимися при смешивании морской воды со спиртом, которым фиксировались пробы. Узнав об этом, Гексли тотчас признал свою ошибку и извинился перед научной общественностью. Геккель же, напротив, продолжил утверждать, что монеры были найдены в Атлантике (Тейлор, 2001). Как и многие эволюционисты того времени, он полагал, что в живой материи нет ничего сложного. На одном из заседаний Немецкого общества естествоиспытателей Геккель заявил: «Когда вы, химики, создадите истинный белок, то он закопошится!». На протяжении всей жизни он ждал доказательств абиогенного происхождения жизни, но так их и не дождался.



*Монеры (Bathybius haeckelii).
Рисунок Э. Геккеля, 1870 г.*

белок, готовый претерпеть ещё более сложные превращения, то в наши дни такой материал непрерывно пожирался бы или поглощался, чего не могло случиться до того, как появились живые существа». ← **2**

В 1924 г. к теории абиогенеза обратился советский учёный Александр Опарин (1894–1980), который в своей небольшой брошюре под названием «Происхождение жизни» высказал предположение, что необходимые для жизни органические вещества могли синтезироваться в первичной атмосфере Земли из составляющих её газов под действием электрических разрядов, тепловых и ультрафиолетовых лучей и накопиться в первичном океане, превратив его в «органический бульон». В дальнейшем из этих веществ могли образоваться основные компоненты живых клеток – биополимеры (белки и нуклеиновые кислоты) и, в конечном итоге, – примитивные живые организмы. Работа Опарина по абиогенному происхождению жизни по сути мало чем отличалась от таковой Т. Гексли и не привлекла особого внимания. Весьма слабый отклик получила и аналогичная работа английского биохимика и генетика Джона Холдейна (1892–1964), опубликованная в журнале *Rationalist Annual* в 1929 году (Майр, 1981).

Настоящий успех гипотезы Опарина (или Опарина–Холдейна, как её ещё называют) пришёл в 1953 г., когда американские биохимики Стенли Миллер (1930–2007) и Гарольд Юри (1893–1981) сообщили о том, что в лабораторных условиях при моделировании процессов, происходивших на древней Земле, им удалось получить ряд биологически важных соединений. Суть их опыта заключалась в следующем: в реакционной колбе через смесь, содержащую метан, аммиак, молекулярный водород и пары воды (полагали, что именно таким был газовый состав первичной атмосферы), в течение недели пропускали искровые разряды напряжением 60000 В. Содержащуюся в другой колбе воду поддерживали в состоянии кипения. Пары воды проходили через реакционную колбу и конденсировались в холодильнике. В процессе циркуляции они захватывали из реакционной колбы продукты реакции и переносили их к колбе с кипящей водой. В результате экспери-



Александр Опарин



Джон Холдейн



Согласно теории абиогенеза мёртвая материя под воздействием факторов среды может превратиться в живую в живую

мента образовалась тёмная жидкость, в которой были обнаружены некоторые низкомолекулярные компоненты живого вещества: органические кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая, гликолевая, молочная) и аминокислоты (глицин, α -аланин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты).

Новость о синтезе «молекул жизни» моментально разнеслась по всему миру и стала настоящей сенсацией. Вслед за биохимиками Чикагского университета опыты по абиогенному синтезу органических веществ начали проводить во многих лабораториях мира. Искровые разряды заменяли ультрафиолетом, ионизирующей радиацией; в смесь газов добавляли сероводород, формальдегид, метан заменяли этаном или углекислым газом, добавляли различные катализаторы и т. д. В результате были получены многие аминокислоты, жирные кислоты, сахара и азотистые основания, в том числе и характерные для живой природы. Теория абиогенеза приобрела небывалую популярность. В 1957 г. в Москве состоялся первый Международный симпозиум по вопросам происхождения жизни.

К тому времени Опарин значительно расширил свою гипотезу. Он показал, что биополимеры, которые должны были образоваться из низкомолекулярных соединений, в водном растворе при определённых условиях способны концентрироваться и образовывать коллоидные капли – коацерваты (лат. «coacervus» – сгусток). Экспериментально доказано, что капельки коацерватов могут поглощать из окружающей среды

различные вещества, увеличиваться в размерах и делиться на несколько дочерних (при встряхивании или самостоятельно). При введении внутрь коацерватов ферментов происходил синтез ряда соединений (например, крахмала), как в химической пробирке. Такие процессы могли происходить и в первичном океане. По мнению Опарина, со временем появлялись коацерваты, внутри которых проходили более сложные реакции, придававшие им устойчивость (срок жизни коацерватов, полученных Опариним, длился от

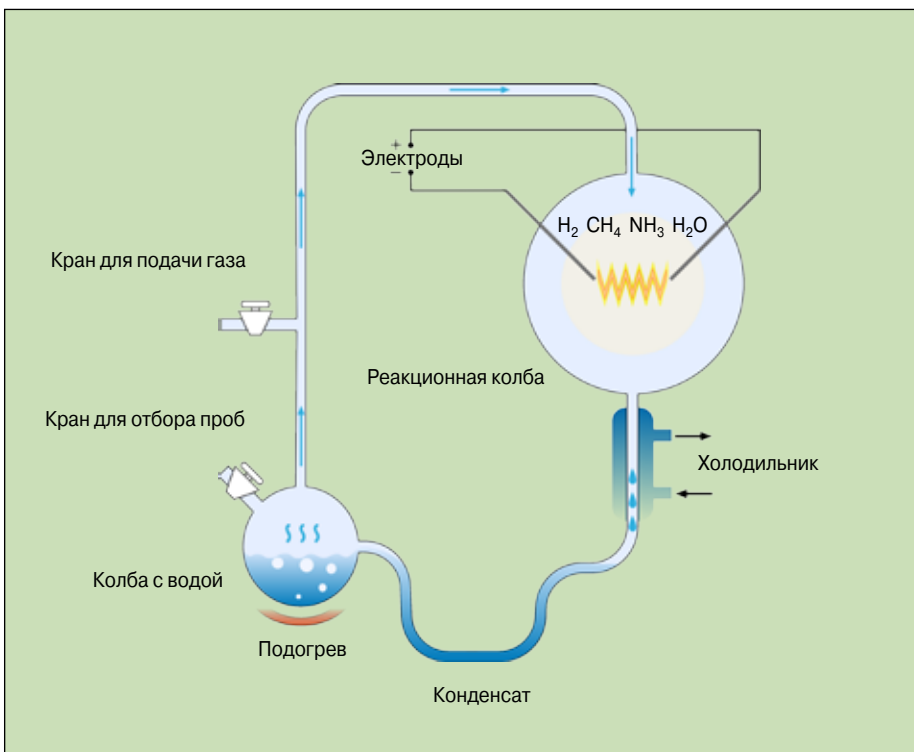


Схема аппарата, сконструированного Миллером и Юри для имитации условий в атмосфере первобытной Земли

нескольких минут до нескольких часов, в редких случаях до нескольких суток). Коацерваты окружали себя липидным слоем, игравшим роль биологической мембраны. На каком-то этапе появились нуклеиновые кислоты, способные к самоудвоению. Нуклеиновые кислоты стали играть роль матриц для образования белков и передавать информацию другим коацерватам при делении. Благодаря этому возникло главное свойство, характерное для живого, – способность к воспроизведению подобных себе молекул.

Так в общих чертах выглядит модель происхождения жизни Опарина, получившая название коацерватной. С её появлением теория абиогенеза приобрела приемлемый вид и в конечном итоге широкое признание. Её включили в образовательную программу как единственную, научно обоснованную, теорию происхождения жизни. Это был своего рода триумф научной мысли: загадка происхождения жизни, так долго мучавшая учёных многих поколений, казалось, была разгадана...

2. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ: ВЗГЛЯД СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Но не следует думать, что гипотеза Опарина была безоговорочно принята всеми учёными, в том числе и эволюционистами. На первом и последующих симпозиумах, посвящённых происхождению жизни, в адрес гипотезы Опарина было высказано множество критических замечаний, заставивших усомниться в её правдоподобности.

2.1 Случайно или закономерно?

Уже на начальном этапе становления теории абиогенеза среди учёных возникли разногласия относительно того, является ли процесс образования жизни случайным или подчиняется какой-то закономерности. Опарин с самого начала подходил к рассмотрению происхождения жизни с точки зрения диалектико-материалистического учения, утверждающего, что в мире нет ничего, кроме постоянно движущейся и развивающейся материи, и что жизнь – это особая форма данного движения, которая появляется закономерно на определённом этапе эволюции материи. «Жизнь возникает всякий раз, когда для этого создаются надлежащие условия в том или ином пункте Вселенной», – писал Опарин. Таково, считал он, свойство материи (Опарин, 1956).

Однако на западе взглядов Опарина не разделяли. Неоднократно критиковали их и в Советском Союзе, особенно в 70-е гг., несмотря на то, что диалектический материализм считался официальной советской философией (Грэхэм, 1991). Закономерный характер возникновения жизни, казалось, придавал гипотезе некий мистицизм.

В свою очередь Опарин подвергал жёсткой критике представление о жизни как о результате случайных физико-химических процессов. Особенно ярко это было отмечено в статье «О сущности жизни», опубликованной в 1979 г. (за год до смерти учёного) в журнале «Вопросы философии» (Опарин, 1979). Опарин, будучи биохимиком, понимал всю сложность строения клетки и считал, что говорить о её случайном становлении в результате «игры атомов» глупо и абсурдно. В частности, он писал: «Идея случайного первичного возникновения ДНК и сейчас широко распространена в научной литературе и даже вошла в некоторые учебники по биохимии, хотя вероятность такого события не больше того, как если бы обезьяна, случайно ударяя по клавишам пишущей машинки, написала трагедию "Гамлет" Шекспира... Современная жизнь не есть результат какой-либо "счастливой слу-

чайности". Она возникает вполне закономерно, как новая форма движения материи в процессе её развития» (Опарин, 1979).

Но его так и не услышали. После смерти учёного споры быстро утихли, и предпочтение было отдано версии случайного происхождения жизни, хотя обосновать эту точку зрения, как и предыдущую, так никому и не удалось.

В любом случае, какой бы характер ни носил процесс зарождения жизни, стоящие перед ним проблемы будут практически одними и теми же. И первая из них – это наличие атмосферы, в условиях которой возможен синтез органических веществ живой природы.

В концепции Опарина содержится столько не поддающихся проверке гипотетических допущений, иногда сомнительных, что её можно скорее отнести к философским, нежели к естественно-научным. Точно так же несут долю фантазии рассуждения автора о происхождении протоклетки и генов.

Академик А. Корочкин

2.2 Газовый состав первичной атмосферы

Вопрос газового состава атмосферы на древней Земле является, пожалуй, ключевым в гипотезе Опарина: от него напрямую зависит химический состав так называемого первичного бульона. Как мы уже отмечали, С. Миллер и Г. Юри в своих опытах по синтезу органических веществ использовали водород (H_2), метан (CH_4), аммиак (NH_3) и пары воды (H_2O). Они решили,



Согласно теории абиогенеза образование живой клетки происходило в условиях, при которых её существование невозможно

что именно из этих газов состояла древняя атмосфера. Такой вывод был сделан на основании состава планет-гигантов Юпитера и Сатурна, как раз в те годы установленно по результатам спектрального анализа (Войткевич, 1988). Однако предположения учёных оказались неверными. Атмосферы Юпитера и Сатурна действительно содержат H_2 и в незначительных количествах CH_4 и NH_3 , однако Земля относится к внутренним планетам Солнечной системы, для которых такой состав

нехарактерен. Наиболее близкими к ранней атмосфере Земли следовало бы считать атмосферы Марса и Венеры, состоящие преимущественно из CO_2 .

При исследовании пород Земли никаких свидетельств существования метаново-аммиачной атмосферы найдено не было. Если бы метан находился в изобилии, то он быстро бы превратился во всевозможные углеводороды, и их модификации отложились бы в самых древних осадочных породах. Но подобных отложений там нет. Если бы в атмосфере присутствовал аммиак, то часть его быстро разложилась бы под действием УФ-волн, а другая часть растворилась бы в океане с образованием сильного основания – гидроокиси аммония. При таких условиях невозможно образование силикатов, которые в больших количествах содержатся в древних породах. Растворились бы в океане и другие предполагаемые газы (H_2S и SO_2), а H_2 моментально улетучился бы в межпланетное пространство, поскольку силы тяготения Земли недостаточно, чтобы удерживать его в верхних слоях атмосферы (Крик, 2002; Фолсом, 1982).

Глубинные газы первичной мантии Земли, выделившиеся при вулканических извержениях и, как считается, давшие начало первичной атмосфере планеты, содержат главным образом H_2O , CO_2 и в гораздо меньших количествах N_2 , H_2S , SO_2 . Газы аналогичного состава обнаружены в метеоритах. Вся же проблема состоит в том, что различного рода манипуляции с газовыми смесями такого состава привели лишь к образованию аммиака, азотной кислоты и формальдегида. Никаких аминокислот получить не удалось (Войткевич, 1988; Юдасин, 1991; Виолован, 2001).

Ещё одной проблемой для учёных стал вопрос наличия или отсутствия в первичной атмосфере свободного кислорода. Холдейн предполагал, что атмосфера Земли была восстановительной (бескислородной), поскольку кислород моментально окислил бы всю органику, а метан и аммиак разложились бы до N_2 , CO_2 и H_2O . Кроме того, если в атмосфере не было кислорода, то не существовало и озонового слоя, следовательно, ультрафиолет свободно достигал бы Земли, способствуя синтезу органических веществ. Однако Холдейн не учёл, что ультрафиолет с ещё большей лёгкостью разрушит только что синтезированную органику, в том числе и в воде на глубине до 10 м. Не был принят во внимание и тот факт, что под действием УФ-лучей происходит фотолиз паров воды (как сейчас над озоновым слоем атмосферы Земли), и уровень кислорода за относительно короткий период времени поднялся бы до современного (Гусев, 2004; Крик, 2002). 3 —→

Сегодня это предположение находит своё подтверждение. Российский учёный из Института космических исследований РАН, профессор Л. Мухин (1933–2009), многие годы занимавшийся проблемой первичной атмосферы Земли и газового состава метеоритов, пишет: «О составе атмо-

феры [Земли] можно судить по газам, содержащимся в земных породах и метеоритах на период времени их формирования. Интересно, что эта атмосфера неравновесна: в ней есть полностью окисленные компоненты, такие как CO_2 , и есть компоненты восстановленные: нет аммиака, а есть только свободный азот. Тем не менее, эти данные приводят к выводу о том, что 3,8–3,9 млрд. лет назад не было никакой восстановительной атмосферы. Наблюдаются следы кислорода, который должен был образовываться во время высокотемпературных процессов и очень быстро реагировать с другими [веществами]. Это важно потому, что в присутствии кислорода не проходят никакие абиогенные синтезы органических соединений» (Мухин, 2009).

Поэтому на сегодняшний день сценарий восстановительной, метаново-аммиачной атмосферы считается наименее правдоподобным (Крик, 2002; Розанов, 2010; Dose, 1988; Shapiro, 1999). Тем не менее, как мы уже отметили, даже отсутствие кислорода в ранней атмосфере делает невозможным абиогенный синтез органических веществ на Земле.

ОТКУДА НА ЗЕМЛЕ КИСЛОРОД

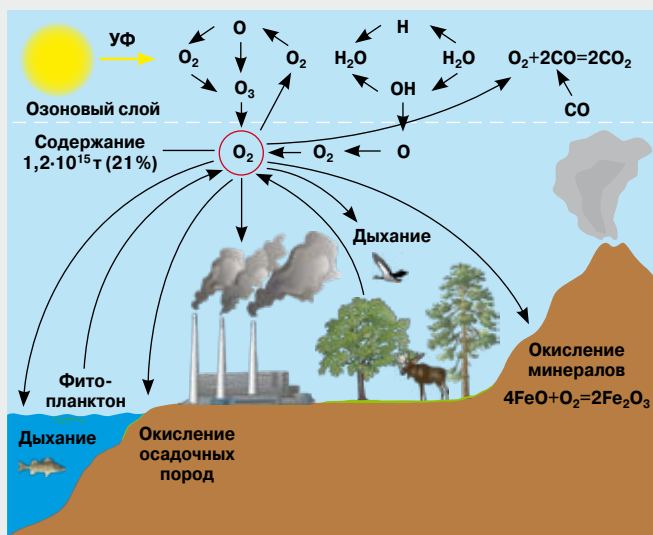


Сегодня в среде эволюционистов широко распространена гипотеза, согласно которой современный уровень кислорода образовался в результате жизнедеятельности зелёных растений. Это даёт основание считать, что вначале атмосфера Земли была восстановительной. Однако данная гипотеза оказалась несостоятельной.

Действительно, круговорот кислорода в атмосфере обеспечивается фотосинтетической активностью растений, однако количество кислорода, выделяющегося в процессе фотосинтеза, строго пропорционально количеству образовавшегося органического вещества. И если это вещество в последующем будет разложено микроорганизмами на простые минеральные компоненты, в том числе воду и углекислый газ, то в ходе данного процесса израсходуется ровно столько же кислорода, сколько выделили растения при его синтезе. Свободный кислород может накопиться в атмосфере только в том случае, если эквивалентное ему количество образованного органического вещества изымается из круговорота. Иными словами, становится недоступным для воздействия грибов, бактерий и животных. К такой массе можно отнести залежи угля, торфа, нефти и др. Всё это органическое вещество оказалось захороненным в отложениях, а кислород, который выделился когда-то при его образовании, остался в атмосфере. Следовательно, если сжечь или минерализовать все имеющиеся запасы топлива (органического происхождения), то кислород из

атмосферы должен исчезнуть полностью. Однако расчёты показывают совсем другую картину.

На сегодняшний день в атмосфере содержится $1,2 \times 10^{15}$ т кислорода. В результате фотосинтеза в атмосферу ежегодно поступает около 2×10^{11} т O_2 , и примерно столько же расходуется на дыхание гетеротрофных организмов и окисление мёртвого органического вещества. Оставшееся количество фотосинтезированного за год кислорода (а это примерно 10^8 т или 0,04%) расходуется на окисление горных пород, а также газов (H_2 , H_2S , CO , SO_2), попадающих в атмосферу из глубинных пород земли. На сжигание топлива расходуется $1,3 \times 10^{10}$ т O_2 /год, что заметно выше остатка, неизрасходованного на дыхание гетеротрофных организмов. Однако, согласно расчётам специалистов, даже если сжечь все разведанные запасы ископаемого топлива, содержание O_2 в атмосфере уменьшится на считанные доли процента (Климов, 2000).



Круговорот кислорода в природе

Но атмосферный кислород – это далеко не весь кислород Земли. Изучение состава земной коры показало, что кислорода в нём содержится около 40% (по массе). Для того чтобы обогатить всю земную кору кислородом, его требуется $(1-3) \times 10^{18}$ т. Такое количество явно не могло быть произведено зелёными растениями (Яблоков, 2006).

Против гипотезы биогенного происхождения кислорода свидетельствует и тот факт, что в породах, возраст которых оценивается в 3 млрд лет, были обнаружены следы эукариот, которые могли существовать только в условиях высокого содержания кислорода (Кордюм, 1982; Розанов, 2010).

КАКИМ БЫЛ СОСТАВ ПЕРВИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ?

СТАРЫЙ ВЗГЛЯД: Первичная атмосфера была бескислородной и состояла в основном из водорода, метана, аммиака и паров воды. Кислород появился намного позже, благодаря жизнедеятельности зелёных растений.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД: Древняя атмосфера, по-видимому, мало чем отличалась от современной. Следов существования метаново-аммиачной атмосферы в земных породах не обнаружено. Зелёные растения не могли поднять уровень кислорода до современного.

2.3 Первичный бульон

2.3.1 Синтез аминокислот. Для образования важнейших биополимеров – белков и нуклеиновых кислот – первичный бульон должен содержать по крайней мере 20 аминокислот, 5 азотистых оснований (аденин, гуанин, цитозин, тимин и урацил), 2 сахара (рибозу и дезоксирибозу). В опытах Миллера и Юри из всех перечисленных компонентов было синтезировано только 4 аминокислоты. Причём в бульоне их оказалось всего 2% (если учитывать только L-формы, см. далее), хотя концентрации газов в смеси были неестественно высокими, а количество энергии, пропущенной через данную смесь, эквивалентно периоду в 50 млн лет пребывания на древней Земле (Фолсом, 1982). На сегодняшний день не было продемонстрировано ни одного эксперимента, в котором удалось бы получить все 20 природных аминокислот. 

Интересно, что в опытах в наибольших количествах синтезируются аминокислоты, не входящие в состав белков, например β -аланин и саркозин; под действием искрового разряда легко синтезируются все 7 изомеров аминокислоты с общей формулой $C_4H_9NO_2$, однако ни одна из них не является компонентом белковых молекул (Майр, 1981). В связи с этим возник вопрос, почему в состав живого вошли те аминокислоты, которые труднее всего получить путём абиогенного синтеза?

2.3.2 Синтез азотистых оснований. Схожие проблемы возникают и с синтезом азотистых оснований. Например, аденин можно получить из цианистого водорода (HCN) – побочного продукта опытов Миллера и Юри – при облучении электронами полученного от линейного ускорителя газовой смеси, состоявшей из метана, аммиака и воды. Однако при чрезвычайно высоких концентрациях HCN (порядка 0,01 М) выход аденина составляет, по некоторым оценкам, всего 0,04%, причём ни в одной реак-

ции не удалось получить чистый аденин, а лишь его производные (Ferris, 1978; Shapiro, 1995). Другое основание – цитозин при искровом разряде не образуется, а образуются только его предшественники: цианоацетилен и цианоацетальдегид. Однако если в растворе присутствуют, к примеру, аминокислоты, то они охотнее будут реагировать с ними, чем образовывать цитозин. Следовательно, прежде чем начнут накапливаться предшественники нуклеиновых кислот, исчезнут предшественники белков и другие важные соединения. (Кроме этого цианоацетилен с большим «удовольствием» прореагирует с аммиаком и циановодородом, которые в больших количествах присутствуют в колбах Миллера-Юри). Под действием УФ-излучения цитозин быстро разрушается с образованием фотогидратов и фотодимеров циклобутана (Shapiro, 1999). Выделить из конечных продук-

**Химические соединения, полученные в ходе экспериментов
С. Миллером и Г. Юри**

Соединение	Формула	Выход, мкмоль
Муравьиная кислота	H-COOH	2330
Глицин	$\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{-COOH}$	630
Гликолевая кислота	$\text{HO-CH}_2\text{-COOH}$	560
Аланин	$\text{H}_3\text{C-CH (NH}_2\text{)-COOH}$	340
Молочная кислота	$\text{H}_3\text{C-CH (OH)-COOH}$	310
β-Аланин	$\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$	150
Уксусная кислота	$\text{H}_3\text{C-COOH}$	150
Пропионовая кислота	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-COOH}$	130
Иминоацетоксусная кислота	$\text{HOOC-CH}_2\text{-NH-CH}_2\text{-COOH}$	55
Саркозин	$\text{H}_3\text{C-NH-CH}_2\text{-COOH}$	50
α-Амино-п-масляная кислота	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-CH (NH}_2\text{)-COOH}$	50
α-Окси-п-масляная кислота	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-CH (OH)-COOH}$	50
Янтарная кислота	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$	40
Мочевина	$\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2$	20
N-метилмочевина	$\text{H}_2\text{N-CO-NH-CH}_3$	15
Иминоацетопропионовая кислота	$\text{HOOC-CH}_2\text{-NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$	15
N-метилаланин	$\text{H}_3\text{C-CH (NH-CH}_3\text{)-COOH}$	10
Глутаминовая кислота	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH (NH}_2\text{)-COOH}$	6
Аспарагиновая кислота	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH (NH}_2\text{)-COOH}$	4
α-Аминоизомасляная кислота	$\text{H}_3\text{C-C (CH}_3\text{) (NH}_2\text{)-COOH}$	1

В исходной смеси присутствовало 710 мг, или 59000 мкмоль, углерода в форме метана. Около 15% углерода вошло в состав указанных соединений. Значительно больше углерода попало в смолистый осадок, не поддающийся анализу. В данном эксперименте образовались 4 аминокислоты из 20-и, входящих в состав белков (выделены цветом).

тов экспериментов, моделирующих первичную атмосферу, другие пурины, кроме аденина, не удалось. Не увенчались успехом и попытки обнаружения пиримидинов (Поннамперума, 1977; Orgel, 2004; Spirin, 2007).

2.3.3 Синтез сахаров. Что касается сахаров, то в опытах, аналогичных таковым Миллера и Юри, не удалось обнаружить даже намёков на их образование (Поннамперума, 1977). Однако был найден формальдегид, потому в качестве возможного способа получения сахаров, в частности рибозы, была предложена реакция конденсации формальдегида. Эта знаменитая реакция Бутлерова (синтез сахаров в слабощелочных водных растворах в присутствии ионов металлов) очень сложная и практически не предсказуемая. Каждый раз получаются самые разные сахара. На практике при непомерно высокой концентрации формальдегида – 0,15 М и выше, выход рибозы составляет менее 1% (Shapiro, 1988). Причём немедленно начинаются побочные реакции с другими сахарами. Из них образуется либо карамель, либо метиловый спирт и мочевины (Мухин, 2009).

Под действием УФ-лучей большая часть формальдегида превращается в пентаэритрит (Schwartz, 1993). Необходимо также учитывать, что сахара не образуются в условиях, при которых синтезируются аминокислоты и азотистые основания (Shapiro, 1984).

Американский биохимик Роберт Шапиро (1935–2011), проделавший в наше время огромное количество специальных экспериментов по абиогенному синтезу рибозы, сделал следующее заключение: «Данные, которыми мы сейчас располагаем, не подтверждают возможности синтеза рибозы в первичном бульоне, за исключением, может быть, кратких периодов, когда она могла появиться в малых концентрациях в составе сложных смесей и в условиях, в которых нуклеозидный синтез невозможен» (Shapiro, 1984).

2.3.4 Устойчивость органических соединений. Все компоненты нуклеиновых кислот по своей природе неустойчивы и легко разрушаются даже в идеальных условиях. Например, период полураспада рибозы при 0°C и pH 7 составляет 44 года, а при 100°C всего 73 минуты (Larralde, 1995). Половина образовавшегося аденина распадается за 80 лет (при 37°C), цитозина – за 340 лет (при 25°C) (Shapiro, 1995, 1999), а при повышении температуры до 100°C сроки их жизни сокращаются до 1 года и 19 дней соответственно (Levy, 1998). Поскольку физико-химические условия в первичном океане были крайне неблагоприятными для оснований и сахаров, то их предполагаемое накопление в течение миллионов лет становится маловероятным.

Те же проблемы возникают и с накоплением в «бульоне» аминокислот. Вычисления, проведённые для определения количества аминокислот, на-

ходящихся в воде в стационарном состоянии, дают очень низкие значения – порядка 10 миллионных долей грамма на литр для любой аминокислоты (Фолсом, 1982; Hull, 1960). Оценив эту ситуацию, американский учёный-эволюционист, профессор К. Фолсом пришёл к заключению, что «такой водоём, конечно, не может быть "органическим бульоном", богатым низкомолекулярными предшественниками, способным к взрывоподобному рывку, обеспечивающему развитие жизни. Скорее, это необыкновенно разбавленное "сусло", содержащее органические соединения и немного ионов металлов» (Фолсом, 1982). Химически неверной посчитали концепцию «первичного бульона» и шведские учёные – химик Л. Силлен и геолог М. Руттен. Поскольку необходимые для синтеза биомолекул реакции направлены против химического равновесия, то их продукты в «бульоне» не могут накапливаться ни за какое время (Чайковский, 2003).

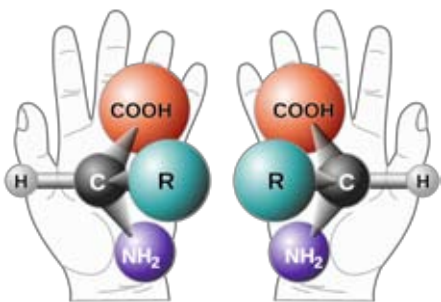
Основной субстанцией миллеровского бульона был дёгтеобразный нерегулярный полимер, плохо поддающийся определению. Скорее всего, именно им и был насыщен «первичный бульон», если таковой существовал вообще.

2.4 Специфические условия синтеза

В опытах Миллера и Юри образовавшиеся в аппарате под действием высоких температур вещества сразу же изолировались с помощью механизма «холодного капкана». Это предполагает, что на Земле должны были существовать области, где бы чрезвычайно высокая температура соседствовала с холодом. Однако вероятность того, что такие места были – весьма мала. Доказать их наличие не представляется возможным. В этом случае предшественники биополимеров едва ли могли достичь поверхности первичного океана, не будучи разрушены в атмосфере той же температурой, которая их создала. Это было наглядно продемонстрировано в ранних опытах авто-ров, в которых не использовался холодильник.

2.5 Хиральная чистота живого

Многие органические молекулы, в том числе необходимые для жизни аминокислоты и сахара обладают так называемой хиральной симметрией (от греч. «hiros» – рука), т. е. могут существовать в двух зеркально симметричных формах. Такие молекулы отличаются друг от друга тем же, чем правая рука отличается от левой. Поэтому их называли D- и L-молекулами (от лат. «Dextro» – правый, «Levo» – левый). При абиогенном синтезе, в



D- и L-изомеры аминокислот

соответствии с законами термодинамики, всегда образуется равное количество D- и L-форм органических молекул. Однако в живых организмах белки состоят исключительно из L-аминокислот, а нуклеиновые кислоты – из D-сахаров. Все клеточные механизмы настроены на восприятие именно этих изомеров. Например, при синтезе белка т-РНК связывается только с L-аминокислотой, а фермент оксидаза D-аминокислот расщепляет D-формы и оставляет нетронутыми их зеркальные аналоги.

Существует определённая группа ферментов, осуществляющих так называемый энантиомерный контроль, отыскивая и уничтожая случайно образовавшиеся «неприродные» изомеры. При биосинтезе ДНК, РНК и ферментов энантиомерная конфигурация будущих звеньев контролируется очень точно: менее одной ошибки на миллиард (Аветисов, 1996). И это не случайно, поскольку включение D-аминокислот приводит к нарушению вторичной и третичной структуры белка, а L-сахаров – к образованию нуклеиновых кислот, неспособных реплицироваться (формировать комплементарные пары и двойную спираль). После гибели организмов аминокислоты и сахара утрачивают свою хиральную чистоту, образуя рацемическую смесь, содержащую 50% D- и 50% L-изомеров.

Проблему D- и L- форм по праву называют одной из самых серьёзных проблем теории абиогенеза (Яблоков, 2006). Ведь если в процессе абиогенного синтеза образуется равное количество симметричных молекул, следовательно, невозможно получить биополимеры, в которые входили бы только одни формы составляющих их молекул, т. к. химическая активность изомеров абсолютно одинакова.

На сегодняшний день предложено множество способов получения оптически чистых изомеров или их разделения (очистки) в условиях древней Земли. Одни считают, что изомеры одного вида могли синтезироваться либо под действием поляризованного света звёзд, либо радиоактивного излучения. Другие видят решение проблемы в различных химических соединениях, добавление которых влияет на конфигурацию конечных продуктов реакции. Третьи указывают на способность оптически активных минералов поглощать те или иные виды изомеров (например, известно, что кристаллы кальцита на одних гранях сильнее удерживают L-аминокислоты, а на других – D-изомеры) и т. д. (Никитин, 2013).



Могли ли необходимые для образования живой клетки молекулы синтезироваться в далёком космосе?

молекулы были синтезированы в далёком космосе при неизвестных нам условиях, а затем с метеоритами попадали на землю, растворились в первичном океане (лишённом этих молекул) и образовали знаменитый органический бульон (Пичугина, 2005; Шишлова, 2000). В этой гипотезе слышится крик отчаяния, и её скорее следует рассматривать как пожелание, чем правдоподобную реальность*.

Но даже если предположить, что каким-то образом на древней земле синтезировались (или попадали из космоса) все правильные изомеры, то это не будет иметь практически никакого значения, поскольку, как мы уже отмечали, с течением времени эти соединения утратят свою хиральную чистоту. В итоге мы всё равно будем иметь смесь L- и D-молекул.

2.6 Синтез белков и нуклеиновых кислот

Поскольку жизнь на уровне низкомолекулярных соединений невозможна, то их накопление было бы бессмысленным, если бы они не смогли образовать важнейшие полимеры: белки и нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК). Только после этого можно было бы говорить о зарождении клетки. Но вся проблема состоит в том, что до сих пор никому ещё не удалось получить ни одной молекулы белка, ни одной молекулы ДНК или РНК, имитируя

* Профессор Л. Мухин отмечает, что метеориты не могли быть поставщиками «молекул жизни», поскольку они практически лишены фосфора – элемента, крайне необходимого для жизни: «По последним данным, в кометах мы находим синильную кислоту, много СО, альдегиды, но не обнаруживаем ни одного соединения с фосфором» (Мухин, 2009).

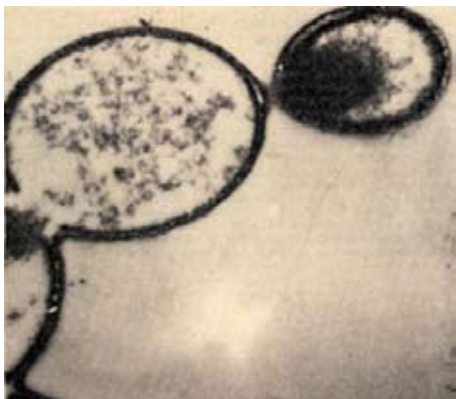
Однако, во-первых, во всех этих способах мы получаем лишь преобладание одних изомеров над другими, добиться 100%-й чистоты изомеров практически невозможно. Во-вторых, если оптические изомеры одного вида сформируются в одной «грязной луже», то к ним вскоре придут изомеры другого вида из другой «лужи» или из атмосферы, и в итоге мы опять получим смесь изомеров.

Учитывая всю сложность проблемы, некоторые учёные склонились к мысли, что простые органические

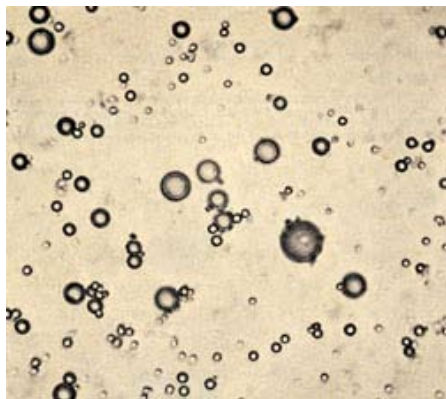
всевозможные условия, которые предположительно могли существовать на древней Земле (Mills, 1993).

2.6.1 Проблемы синтеза белка. Самым главным фактором, препятствующим синтезу пептидов, являлся, как ни странно, первичный океан. При построении пептидной цепи присоединение каждого нового аминокислотного звена сопровождается выделением молекулы воды (реакция поликонденсации). Однако, согласно принципу Ле-Шателье, в водной среде предпочтение получит обратная реакция, т. е. гидролиз полимера. Для того чтобы сдвинуть реакцию в сторону полимеризации, необходим одновременный приток энергии и удаление образовавшейся воды (Майр, 1981). Но как этого добиться?

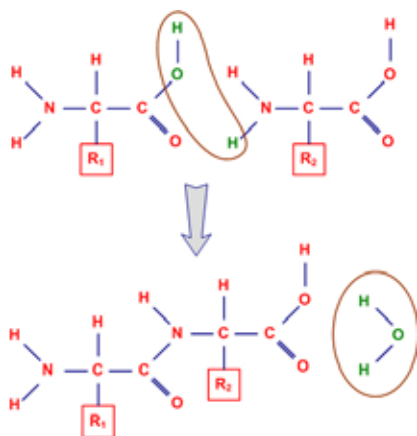
Разрешить проблему полимеризации аминокислот попытался американский учёный С. Фокс. Он нагревал сухую смесь чистых аминокислот до 130–180°C и получал полимерные цепи, названные им термальными протеиноидами. Согласно сценарию Фокса, синтезированные в бульоне аминокислоты должны были перенестись на горячие скалы или частицы вулканического пепла, полимеризоваться (за счёт испарения воды и нагревания) и снова возвратиться в океан. Но, как оказалось, подобный сценарий не решил проблему, а, наоборот, создал дополнительные трудности. При нагревании 20-и природных аминокислот три из них (цистеин, серин и треонин) разрушаются, а из оставшихся вместо линейной цепочки образуется сетчатый полимер, в котором отдельные звенья связаны поперечными мостиками. Кроме того, только 50% связей между аминокислотами были «белковыми», т. е. α -амидными (Юнкер, 1997). Поэтому Фокс и на-



Коацерватные капли, образовавшиеся в водном растворе протамина и полиадениловой кислоты (по А. Опарину)



Термальные протеиноиды (микросферы), полученные путём нагревания сухой смеси аминокислот (по С. Фоксу)



Синтез белка начинается с реакции поликонденсации аминокислот и требует особых условий для протекания

звал полученные полимеры не белками, а протеиноидами. Формирование настоящих пептидов возможно только тогда, когда нужные карбоксильные и аминогруппы активизируются, а боковые цепочки защищены от нежелательных побочных реакций, например, специальными защитными агентами*. Как мог осуществиться такой синтез на древней Земле, остаётся загадкой.

Не следует упускать из виду, что пептидная цепочка должна была приобрести необходимую вторичную, третичную и четвертичную структуру, в противном случае белок не будет функционировать должным образом, т. е. ускорять катализируемую ими

реакцию в 10^6 – 10^{12} раз. В отношении протеиноидов Фокса эти понятия вообще не применимы, поскольку протеиноид не имеет даже первичной структуры, свойственной природным ферментам.

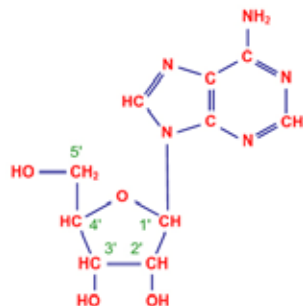
И всё же, если предположить, что настоящий белок каким-то образом синтезировался на древней Земле, то под действием УФ-лучей он был бы разрушен, в том числе и в воде.

2.6.2 Проблема синтеза нуклеиновых кислот. Если при полимеризации аминокислот необходимые пептидные связи образуются в 50% случаев, то при формировании ДНК (РНК), нужных связей может не образоваться вообще.

2.6.2.1 Синтез нуклеозидов. Как мы уже говорили, ни азотистые основания, ни сахара при моделировании условий первобытной земли не образуются, однако теоретически такую возможность исключать нельзя. Поэтому, если исходить из того, что данные компоненты всё же присутствовали в «бульоне», то следующим этапом на пути образования нуклеи-

* Получение белков небиологическим способом – довольно сложная задача. К примеру, чтобы синтезировать фермент рибонуклеазу, состоящую всего из 124 аминокислот, необходимо провести 369 химических реакций, включающих 11931 (!) стадию. Осуществить этот процесс можно только с помощью специального оборудования (Швехгеймер, 1994).

У всех современных организмов в молекуле РНК аденин и рибоза соединены β -1'-связью. Однако при абиогенном синтезе аденин может присоединяться к любому из 4-х атомов рибозы, несущих гидроксильную группу. Кроме этого, 3 из этих атомов углерода асимметричны, так что в результате присоединения к любому из них могут возникать α - и β -формы молекул

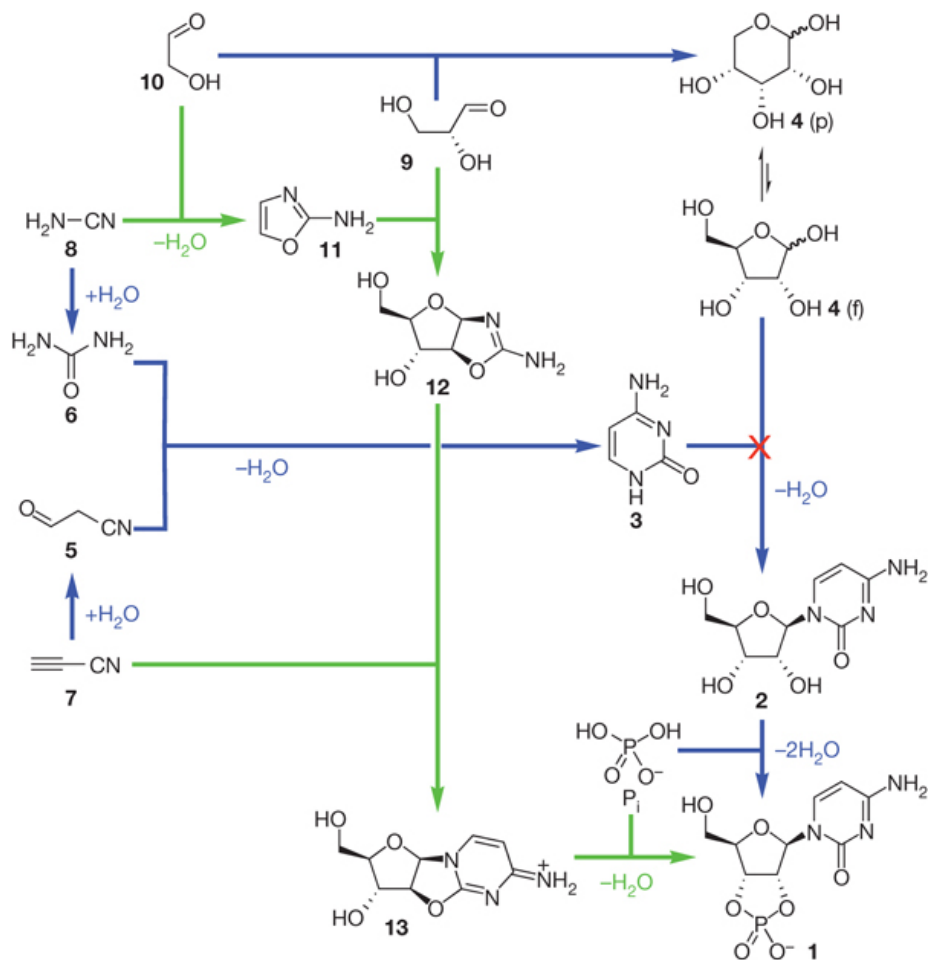


новых кислот должен стать синтез нуклеозидов, т. е. объединение азотистых оснований (пуриновых и пиримидиновых) с сахаром. И здесь мы сталкиваемся с серьёзнейшей проблемой: в условиях модели древней Земли эти вещества наотрез отказываются соединяться. Пиримидиновые нуклеозиды (уридин, цитидин) не синтезируются совсем, а пуриновые нуклеозиды (аденозин, гуанозин) синтезируются, но с очень низкой эффективностью. Дело в том, что молекуле РНК связь между азотистым основанием (например, аденином) и сахаром – рибозой – исключительно β -1'-конфигурации. Но у рибозы имеются 4 гидроксильные группы, 3 из которых находятся при асимметричном атоме углерода. Таким образом, присоединение к ней аденина возможно по 7 вариантам. До сих пор никому ещё не удавалось предложить метод, обеспечивающий хороший выход необходимой β -1'-связи (Майр, 1981; Spirin, 2007).

2.6.2.2 Синтез нуклеотидов. Для получения непосредственных мономерных субъединиц РНК – нуклеотидов, образовавшиеся нуклеозиды должны фосфорилироваться, т. е. присоединить к себе молекулу фосфата. Однако опять-таки возможность абиогенного фосфорилирования весьма проблематична, особенно в водной среде, в связи с низким выходом реакций и беспорядочным фосфорилированием самых различных групп нуклеозидов, дающих сложную смесь фосфорилированных продуктов вместо требуемых нуклеозид-5'-фосфатов (Spirin, 2007).

В конечном итоге, как пишет академик А. Спирин, «закключение, которое можно сделать из всех имеющихся данных, не утешительно: несмотря на все ухищрения и моделирование различных условий первобытной Земли, к настоящему времени не удаётся воспроизвести полный абиогенный синтез ни одного из нуклеотидов, являющихся компонентами (мономерами) РНК» (Spirin, 2007). С ним соглашаются и другие биохимики (Joysе, 2006; Orgel, 2004).

Однако в 2009 г. в журнале Nature химик Джон Сазерленд (John Sutherland) и его коллеги из Манчестерского университета (Великобрита-



Пути предбиологического синтеза рибонуклеотидов. Синими стрелками показан классический путь (до сих пор не осуществлён в искусственных условиях), зелёными – способ, предложенный Д. Сазерлендом.

ния) сообщили, что нашли способ, позволяющий синтезировать рибонуклеотиды, и при том пиримидиновые. Напомним, что до этого из пиримидиновых оснований не удалось получить даже нуклеозидов, а в их опытах получены сразу нуклеотиды. Весь секрет заключался в том, что они соединяли не готовые «блоки» – рибозу и пиримидиновое основание, а использовали более простые органические молекулы (цианоацетилен, цианамид, гликольальдегид и глицеральдегид) соединяя их вместе в присутствии неорганического фосфата. В итоге им удалось синтезировать цитидинфосфат,

а из него и уридинфосфат (Powner, 2009). Эта публикация вызвала довольно большой отклик среди сторонников идеи самозарождения жизни.

Однако ликование вскоре утихло. В профессиональной среде эту работу оценили невысоко. Американский геофизик, профессор С. Майер, критикуя статью Сазерленда, пишет: «В статье "Nature" утверждается, что стартовые молекулы представляют собой "правдоподобное предбиологическое сырьё", однако, как говорит Гарнер, это утверждение обращает на себя внимание прежде всего тем, что у них подразумевается под словом "правдоподобное". В этом случае получение гликольальдегида и глицеральдегида настолько же "правдоподобно", насколько правдоподобно утверждение, что если у вас есть пакет муки, масло, яйца, сахар, разрыхлитель, соль, то вы можете испечь торт, используя некий "режим нагрева". Тем не менее, каждый пекарь знает, что ингредиенты должны использоваться в нужном количестве и правильном порядке, и что "режим нагрева" должен применяться на нужном уровне, иначе ваш торт будет несъедобен. Для получения даже простых молекул предшественников рибонуклеотидов нужен не только правильный "режим нагрева", что не маловажно, но также и соответствующее количество, и очерёдность "режимов нагрева, и продолжительная дегидратация с последующим охлаждением, регидратацией и ультрафиолетовым облучением"» (Meyer, 2010).

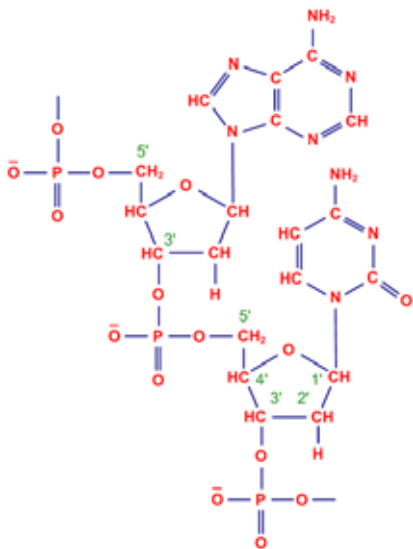
«Полученные результаты, – пишет биохимик Алан Шварц (главный редактор научного журнала «Происхождение жизни и эволюция биосферы»), – хотя и представляющие впечатляющее химическое "чудо мастерства", сделали мало для решения проблемы пребиотического синтеза нуклеотидов, так как возникает масса новых затруднений, которые должны быть приняты во внимание для оценки правдоподобности данного химического пути в пребиотических условиях. Каждый из необходимых реагентов является реактивным химическим соединением, которое, в отсутствие избирательных условий, вступит в реакцию и образует набор нежелательных продуктов. Хотя цепь представленных Сазерлендом реакций и минует беспокоящую проблему синтеза рибозы, она в свою очередь поднимает другие вопросы. Как указал [сам] Сазерленд (2010) "встраивание нового химического пути синтеза в правдоподобный геохимический сценарий остаётся трудной задачей"» (Schwartz, 2013).

Действительно, на некоторые трудности в признании данного способа синтеза нуклеотидов теоретически возможным в условиях древней Земли обратил внимание и сам автор нашумевшей публикации. В частности, он отметил: «...данный путь синтеза, который был осуществлен в лаборатории, состоял из нескольких стадий, и условия на этих стадиях были различными. Кроме того, между определенными стадиями выполнялась пред-

варительная очистка, чтобы упростить анализ химического механизма. Очевидно, что эти вопросы должны быть решены до того, как можно будет считать данный синтез геохимически возможным» (Sutherland, 2010).

К тому же, необходимо учесть, что все полученные пирииминовые нуклеотиды крайне неустойчивы в природной среде и быстро разрушаются, особенно под действием УФ-излучения и температуры (Lindahl, 1993).

2.6.2.3 Полимеризация нуклеотидов. Но если всё же предположить, что каким-то образом будет решена проблема синтеза нуклеотидов и даже будет найден неферментативный метод их получения со всеми «правильными» связями, то и тогда остаётся ещё решить проблему правильного связывания нуклеотидов в полимерную цепь нуклеиновой кислоты.



При абиогенном синтезе полимерных цепей РНК и ДНК нуклеотидные связи чаще всего образуются между 5'-гидроксилом одного остатка сахара и 2'-гидроксилом другого, тогда как во всех современных образцах ДНК и РНК обнаруживаются 5', 3'-связи

Полимеризация нуклеотидов в водной среде – реакция, идущая с поглощением свободной энергии и потому требующая либо внешних активирующих агентов, либо предварительной активации нуклеотидов, например, путём их полифосфорилирования. Небиологическую полимеризацию нуклеотидов можно осуществить путём их нагревания приблизительно до 55°C в присутствии полифосфатов. Однако при этом связи чаще всего образуются между 5'-гидроксилом одного остатка сахара и 2'-гидроксилом другого, тогда как во всех современных образцах ДНК и РНК обнаруживаются 5', 3'-связи (Майр, 1981; Joyсе, 1993; Галимов, 2006; Spirin, 2007).

Не следует упускать из виду и проблему устойчивости полимеров, ведь, как и белки, молекулы ДНК (РНК) легко разрушаются под действием ультрафиолета, который, по теории Опарина, был необходим для синтеза предшественников этих соединений.

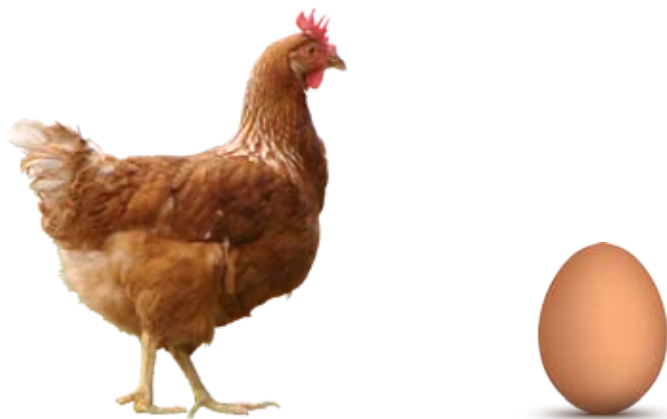
МОЖНО ЛИ АБИОГЕННЫМ ПУТЁМ ПОЛУЧИТЬ ВСЕ НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КЛЕТКИ МОЛЕКУЛЫ?

НЕВЕРНО: Да. Из простых органических и неорганических веществ можно получить все клеточные биомолекулы.

ВЕРНО: Нет. Многие биомолекулы невозможно получить абиогенным способом, даже с использованием современных аппаратов химического синтеза.

2.7 Курица или яйцо?

Все живые клетки обладают двумя главными свойствами: способностью к метаболизму и способностью к репродукции (самовоспроизведению). Первое свойство обеспечивают белки, второе – ДНК. Что возникло раньше: белковые системы с устойчивым метаболизмом или способные к воспроизведению молекулы ДНК? Долгое время этот вопрос был предметом спора между Опариным и Холдейном. Опарин утверждал, что сначала появились белковые системы, которые со временем приобретали полезные свойства, характерные для живых клеток. Такие системы сформировались из коацерватов и были названы им протобионтами. Образование ДНК – это всего лишь завершающие детали биохимической эволюции, с помощью которых протобионты превратились в живые клетки. Холдейн с мнением коллеги не соглашался. Такая эволюция казалась ему бессмысленной, поскольку, каким бы полезным свойством не обладали коацерваты, вся их «полез-



Что было раньше: курица или яйцо?

РЕПЛИКАЦИЯ ДНК: ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА

Удвоение ДНК – это не такой простой процесс, как может показаться на первый взгляд. Чтобы произошло копирование, клетка должна располагать определённым набором белков и ферментов, необходимость которых определяется множеством обстоятельств.

Во-первых, молекула ДНК представляет собой две связанные цепочки нуклеотидов, каждая из которых является матрицей для построения новой цепи. Следовательно, чтобы начался синтез ДНК, должно произойти разделение двух цепей ДНК. Связи между нитями ДНК весьма стабильны; для того чтобы они разрушились, необходимы особые белки, которые называются ДНК-хеликазы. Эти ферменты разрывают водородные связи между основаниями, разделяют цепи (за счёт чего образуются так называемая репликационная вилка и репликационный глазок, или зона репликации). Вслед за этим с одиночными цепями ДНК связываются специальные дестабилизирующие спираль белки, – которые не позволяют одиночным цепям ДНК сомкнуться. При этом они не закрывают оснований ДНК, а оставляют их доступными для спаривания.

Во-вторых, комплементарные цепи ДНК закручены друг вокруг друга в спираль, следовательно, для того чтобы репликационная вилка могла продвигаться вперёд, вся ещё не удвоенная часть ДНК должна была бы очень быстро вращаться. Эта топологическая проблема решается путём образования в спирали своего рода шарниров, позволяющих цепям ДНК раскрутиться. Принадлежащие к особому классу белки, называемые ДНК-топоизомеразы, вносят в цепь ДНК одно- или двухцепочечные разрывы, позволяющие цепям ДНК разделиться, а затем заделывают эти разрывы. Топоизомеразы участвуют также в расщеплении двухцепочечных колец, образующихся при репликации кольцевых двухнитевых ДНК. С помощью этих важных ферментов двойная спираль ДНК в клетке может принимать «недокрученную» форму с меньшим числом витков; в такой ДНК легче происходит расхождение двух цепей ДНК в репликационной вилке.

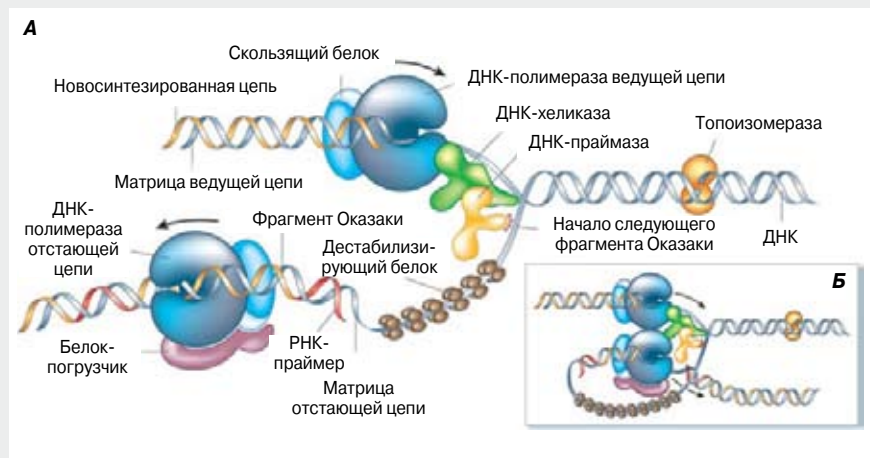
В-третьих, непрерывный синтез ДНК происходит только на одной матричной цепи (в направлении от 5'-конца нити к 3'-концу). На второй матричной цепи ДНК синтезируется сравнительно короткими фрагментами (длиной от 100 до 1000 нуклеотидов, в зависимости от вида), названными по имени обнаружившего их учёного фрагментами Оказаки. (Вновь образованная цепь, которая синтезируется непрерывно, называется ведущей, а другая, собираемая из фрагментов Оказаки, – отстающей). Синтез любого фрагмента Оказаки не может начаться самостоятельно. Для этого необходимы специальные короткие фрагменты молекулы РНК – РНК-затравки (РНК-праймеры), которые синтезируются особым ферментом – ДНК-праймазой. Через некоторое время РНК-затравки удаляются, бреши застраиваются ДНК-полимеразой и фрагменты сшиваются в одну непрерывную цепь ДНК специальным ферментом – лигазой.

В-четвёртых, репликация начинается не с любого места молекулы ДНК, а с той её части, где находятся специфические нуклеотидные последовательности – точ-



ки начала репликации, состоящие приблизительно из 300 нуклеотидов. С этим местом связываются особые инициаторные белки, способствующие образованию нового репликационного глазка с одной или двумя вилками. Все эти белки вместе с ДНК-полимеразой (которых в клетках обычно несколько типов) объединяются в крупный комплекс, который быстро движется вдоль ДНК и согласованно осуществляет процесс репликации. Этот комплекс сравнивают с крошечной «швейной машиной».

На рисунке ниже показано, как работают отдельные части такой «репликационной машины». Спираль расплетается ДНК-хеликазой; этому процессу помогают ДНК-топоизомераза, раскручивающая цепи ДНК, и множество молекул дестабилизирующего белка, связывающихся с обеими одиночными цепями ДНК. В области вилки действуют две ДНК-полимеразы – на ведущей и отстающей цепи. На ведущей цепи ДНК-полимераза работает непрерывно, а на отстающей фермент время от времени прерывает и вновь возобновляет свою работу, используя короткие РНК-затравки, синтезируемые ДНК-праймазой. Молекула ДНК-праймазы непосредственно связана с ДНК-хеликазой, образуя структуру, называемую праймосомой. Праймосома движется в направлении раскрытия репликационной вилки и по ходу движения синтезирует РНК-затравку для фрагментов Оказаки. В этом же направлении движется ДНК-полимераза ведущей цепи и, хотя на первый взгляд это трудно представить, ДНК-полимераза отстающей цепи. Для этого, как полагают, последняя накладывает цепь ДНК, которая служит ей матрицей, саму на себя, что и обеспечивает разворот ДНК-полимеразы отстающей цепи на 180° . Согласованное движение двух ДНК-полимераз обеспечивает координированную репликацию обеих нитей. Таким образом, в репликационной вилке одновременно работают около 20-и разных белков (из которых мы назвали только часть), осуществляя



Схематическое изображение процесса репликации ДНК (А) и пространственного положения репликационной вилки (Б)

сложный, высокоупорядоченный процесс, который, кстати, требует больших затрат энергии.

Хотелось бы отметить ещё одну особенность репликации ДНК. Генетический материал живых организмов имеет огромные размеры и реплицируется с высокой точностью. В среднем в процессе воспроизведения генома млекопитающего, состоящего из ДНК длиной 3 млрд пар нуклеотидов, возникает не более трёх ошибок. При этом ДНК синтезируется чрезвычайно быстро (скорость её полимеризации колеблется в пределах от 500 нуклеотидов в секунду у бактерий до 50 – у млекопитающих). Высокая точность репликации, наряду с её высокой скоростью, обеспечивается наличием специальных механизмов, осуществляющих коррекцию, т. е. устраняющих ошибки. Эту коррекцию осуществляют ДНК-полимеразы (многие, но не все). Суть механизма коррекции заключается в том, что ДНК-полимеразы дважды проверяют соответствие каждого нуклеотида матрице: один раз перед включением его в состав растущей цепи и второй раз перед тем, как включить следующий нуклеотид. Очередная фосфодиэфирная связь синтезируется лишь в том случае, если последний (3'-концевой) нуклеотид растущей цепи ДНК образовал правильную пару с соответствующим нуклеотидом матрицы. Если же на предыдущей стадии реакции произошло ошибочное спаривание оснований, то дальнейшая полимеризация останавливается до тех пор, пока ошибка не будет исправлена. Для этого фермент перемещается в обратном направлении и вырезает последнее добавленное звено, после чего его место может занять правильный нуклеотид-предшественник. Иными словами, ДНК-полимераза проявляет помимо 5'-3'-синтетической активности ещё и 3'-гидролизующую активность, которая обеспечивает удаление ошибочно спаренных с матрицей нуклеотидов. Следует учесть, что описанный выше механизм репарации далеко не единственный: на сегодняшний день их открыто около десятка. Без слаженной работы всех этих механизмов удвоение ДНК в живых клетках невозможно (Фаворова, 1996).

ность» исчезнет вместе с ними, т. к. не существует механизма передачи этих свойств по наследству. Поэтому жизнь, полагал Холдейн, должна начаться с молекулы ДНК, которая может создавать свои копии и тем самым сохраняться из поколения в поколение.

Однако и его предположение оказалось неверным. Вскоре выяснилось, что молекулы ДНК без белковых систем ни на что не способны. «Молекула ДНК – это только чертеж для создания таких же молекул, – пишет российский биохимик Д. Кнорре. – Сколько ни выдерживайте молекулу ДНК – никакие новые копии сами по себе не получатся. Нужен, во-первых, строительный материал – достаточный запас молекул мономеров, подготовленных для сборки новых полимерных цепей. И нужно специальное устройство, которое будет осуществлять шаг за шагом присоединение мономеров к растущей новой полимерной цепи. Поскольку присоединение каждой следующей молекулы мономера представляет собой химическую

реакцию, то и для образования новых цепей ДНК необходимо участие большого числа специальных белков, которые образуют сложную структуру, называемую полимеризационным комплексом. Первоначально из этого комплекса был выделен фермент, названный ДНК-полимеразой, но затем, во-первых, нашли, что в любых клетках оперируют несколько типов ДНК-полимераз, а во-вторых, обнаружили, что вместе с полимеразой в полимеризационный (или репликационный) комплекс входит несколько десятков (!) других белков» (Кнорре, 1996).

Так что же должно было появиться раньше? ДНК или всё-таки ферменты? В конце концов стало очевидным, что эти споры столь же бесплодны, как и дебаты прошлых поколений о том, что было раньше – курица или яйцо, и что важнее – наследственность или среда. «И белки, и нуклеиновые кислоты должны были развиваться параллельно и возникать практически одновременно», – таков был вердикт учёных (Майр, 1981). Если в нужное время не появится ферментативный комплекс, способный скопировать появившуюся ДНК, то в существовании последней не будет никакого смысла. Конечно же, поверить в такие чудеса было довольно сложно, но другого решения на тот момент не существовало. Поэтому ничего не оставалось, как только верить. ← 5



Модель молекулы ДНК – носителя наследственной информации

2.8 «Мир РНК» и связанные с ним проблемы абиогенеза

Однако в 1981 г. американский биохимик Томас Чек, изучая РНК инфузории *Tetrachymena thermophila*, к своему удивлению обнаружил, что эта РНК может функционировать как настоящий фермент, а именно: катализировать разрезание и сшивку, причём самой себя. Это поистине стало сенсационным открытием, поскольку до этого считали, что катализировать биохимические реакции способны только белки. В дальнейшем было показано, что РНК может осуществлять ряд других реакций (например, присоединять азотистые основания к рибозе). По аналогии с белковыми ферментами – энзимами, молекулы РНК, способные к катализу, назвали рибозимами (Чек, 1987).

Открытие рибозимов незамедлительно сказалось на теории абиогенеза, ведь РНК, как и ДНК, способна реплицироваться, а у некоторых вирусов

ещё и отвечает за хранение наследственной информации. И если к этому прибавить и её ферментативную способность, то выход из дилеммы «курицы и яйца», кажется вполне очевидным. Так на свет родилась гипотеза «мира РНК». Суть этой гипотезы заключается в следующем: вначале не существовало ни ДНК, ни белков, а были лишь короткие цепи РНК. Некоторые из них приобрели способность катализировать реакцию собственного воспроизведения. Из-за ошибок репликации возникали новые РНК, катализирующие другие реакции. Молекулы РНК окружили себя липидной мембраной и сформировали свой маленький мир – мир «рибоорганизмов», с которого и началась жизнь.



Модель молекулы рибозима – РНК-молекулы, способной выступать в качестве катализатора некоторых биохимических реакций

Всем казалось, что «мир РНК» вот-вот совершит переворот в теории происхождения жизни. За открытие каталитических свойств РНК в 1989 г. была присуждена Нобелевская премия по химии. Но сенсации не произошло. Сколько учёные ни бились, обнаружить рибозимы, способные самостоятельно создавать копии РНК, так и не удалось (Григорович, 2004; Duve, 1995). У всех организмов за эту функцию отвечают только белки. «Ни одним опытом не было продемонстрировано, что хоть одна олигонуклеотидная система обладает способностью к эффективному и надежному неэнзимному воспроизведению в естественных условиях», – пишет в журнале Science биохимик А. Эшенмосер (Eschenmoser, 1999).

Ниже мы перечислим основные проблемы, с которыми сталкивается данная гипотеза.

2.8.1 Проблема скорости репликации. Чистые молекулы РНК являются слабыми катализаторами, с очень низкой процессивностью (т. е. эффективностью прохождения ферментативной реакции), именно поэтому в живых клетках они работают только в комплексе с белковыми-ферментами. Например, самый эффективный из полученных на сегодняшний день рибозимов – рибозим tC9Y (Attwater, 2013) присоединяет примерно 4 нуклеотида в час (в то время как скорость транскрипции РНК у бактерий достигает 180000 нуклеотидов в час), а максимальное количество нуклеотидов, которые он может присоединить составляет всего 206, и это рекорд. Такая скорость репликации примерно равна скорости деградации копируемой

матрицы. Другими словами, РНК разрушится быстрее, чем успеет реплицироваться (Рухленко, 2015).

2.8.2 Проблема точности копирования. Помимо этого, рибозимы-полимеразы обладают очень низкой точностью копирования. Чтобы эффективно копировать хоть какие-то функциональные рибозимы, ферментативная репликация должна иметь низкую частоту ошибок. В живых клетках точность копирования ДНК невероятно высокая. Например, спонтанные мутации в бактерии *Escherichia coli* происходят с частотой от 10^{-9} до 10^{-10} на нуклеотид на клетку за одну генерацию. Такой уровень точности достигается за счёт многоступенчатой организации процессов репарации. При репликации ДНК встраивание ошибочных нуклеотидов происходят с частотой от 10^{-4} до 10^{-5} на нуклеотид на клетку на одну генерацию. Эпсилон-субъединица ДНК-полимеразы III обладает «редактирующей» функцией, которая увеличивает точность до 10^{-7} – 10^{-8} на нуклеотид на клетку за одну генерацию. Далее пострепликативная система репарации несовпадений уменьшает частоту ошибок до 10^{-9} – 10^{-10} . Последняя система производит репарацию несовпадающих оснований в ДНК, корректируя праймерную цепь ДНК по матричной. И даже с такой точностью копирования вредные мутации (ошибки копирования) имеют тенденцию постепенно накапливаться в геномах.

Что касается рибозимов, полученных в лаборатории, то по результатам недавних исследований, средний процент ошибок при копировании РНК составляет 17% (Leu, 2011).

Обсуждая проблему высокоточных репликаторов, известный американский учёный (русского происхождения), являющийся признанным экспертом в эволюционной и вычислительной биологии, профессор Евгений Кунин пишет: «Решающим в изучении происхождения жизни является вопрос о том, как была достигнута наименьшая сложность, необходимая для приемлемой репликации. Даже в простейших современных системах, таких как РНК-вирусы, точность репликации в которых составляет всего 10^{-3} (то есть в среднем одна ошибка на 1000 нуклеотидов), репликация катализируется сложными белковыми полимеразам. Сами эти полимеразы (репликазы) синтезируются в результате трансляции соответствующих м-РНК при посредстве чрезвычайно сложного рибосомного аппарата. Отсюда следует драматический парадокс происхождения жизни: **для достижения минимальной начальной сложности, необходимой для того, чтобы биологическая система начала движение, эта система должна обладать гораздо большей начальной сложностью** (выделено Е. Кунином). В рамках обычного эволюционного мышления невозможно

даже представить решения этой головоломки» (Кунин, 2014). Можно провести аналогию с миром техники: любой станок по производству той или иной детали устроен намного сложнее чем производимая им деталь. Какой бы простой ни была деталь, выпускающий её станок будет устроен намного сложнее. И преодолеть это препятствие едва ли представится возможным.

2.8.3 Проблема репарации. Эта проблема тесно связана с предыдущей, и по сути является самой серьёзной проблемой «мира РНК». Всем известно, что никакая система, будь то живая или неживая, не может долго работать без поломок, повреждений, износа «деталей» и т. д. Возьмём, к примеру, бытовую технику – холодильник, утюг или стиральную машину. Покупая её, вы получаете адрес сервисного центра по ремонту и обслуживанию (наличие которого для фирменной техники обязательно), получаете инструкции по эксплуатации и советы по уходу за техникой. Сервисные центры производят наладку, ремонт, а в случае невозможности ремонта – замену изделия. Всё это необходимо для обеспечения качественной работы приобретённого вами товара.

Точно также и в живой системе. На живую клетку постоянно воздействуют факторы внешней и внутренней среды, которые вызывают повреждения ДНК. Оценено, что под влиянием этих факторов в каждой клетке высших организмов потенциально может образоваться 109 повреждений ДНК в течение одного дня. И если бы такие повреждения фиксировались, то геном подвергнулся бы очень быстрому разрушению и жизнь на Земле моментально бы прекратилась (Лунный, 2015). Поэтому геном любого живого организма защищён эффективной и сложной системой защиты от повреждений ДНК, которая выполняет функцию сервисного центра.

К клеточным системам защиты генетической информации относят:

– **антиоксиданты**, инактивирующие «на дальних подступах к ДНК» самые сильные токсиканты (свободные радикалы, перекиси). Это первый уровень обороны живой системы. К антиоксидантам относятся ферменты (супероксиддисмутаза, пероксидазы, каталазы и др.), а также низкомолекулярные вещества – аскорбиновая кислота, флавоноиды, токоферолы, производные никотиновой кислоты и многие другие, обладающие способностью улавливать и снижать активность свободных радикалов. В тех случаях, когда содержание токсикантов сильно повышается или активность антиоксидантных систем снижена, часть их проникает в клеточное ядро и вызывает повреждения (мутации) в молекуле ДНК. Ионизирующие и неионизирующие излучения могут вызывать мутации напрямую, включая наиболее опасные двухнитевые разрывы в молекуле ДНК. В этих случаях в дело вступает вторая система (уровень) защиты:

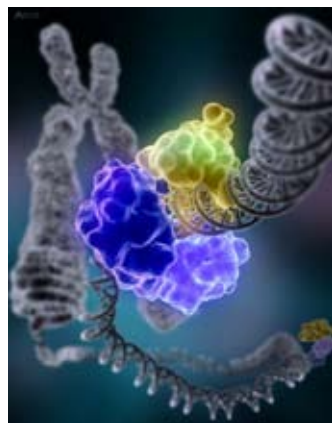
– **системы репарации** (исправления повреждений ДНК). Эти системы осуществляют «исправление» генетической информации, искажённой действием внешних мутагенных факторов. В настоящее время достаточно детально изучены 7 различных систем репарации (Сойфер, 1997). Они состоят из сложных комплексов ферментов, осуществляющих скрининг и реконструкцию первичной структуры молекул ДНК. Причём это комплекс достаточно сложный. Например, в клетках человека полный цикл только одного типа репарации (эксцизионной репарации нуклеотидов) включает более 25 полипептидов, которые на месте повреждения собираются в специальные структуры – *репарасомы* (Акифьев, 1999).

При нормальном функционировании эти системы устраняют все мутации, возникшие в ДНК материнской клетки до начала её деления. Если системы репарации ДНК не успевают «исправить» все возникающие мутации, в дело вступают третья система защиты организма:

– **системы клеточного апоптоза**, которые запускают программы клеточного самоуничтожения в интересах всего организма путём разборки биомолекул до исходных «кирпичиков» (нуклеиновых кислот до нуклеотидов, белков до аминокислот) с последующим их использованием другими клетками.

Эта система стоит на страже клеточной системы и постоянно контролирует работу клетки. Она же контролирует процесс репликации, обеспечивая низкую частоту ошибок копирования, о чём мы говорили в п. 2.8.1. В процессах репарации ДНК принимают участие сотни белков и ферментов, и практически отсутствуют организмы, у которых бы эти системы являлись менее сложными, чем у других. Никакая степень организации с уровнем сложности репарации не связана: репарация ДНК у бактерий ничуть не менее комплексна, чем у млекопитающих. Даже вирусы, не обладая собственной системой репарации, вынуждены использовать систему репарации клетки-хозяина (иногда вирусы сами кодируют один-два белка репарации). Именно поэтому вирусы вне организма живут очень недолго. Например, любой вирус, несмотря на то, что его ДНК (РНК) одета в защитный белковый чехол, в солнечную погоду способен «прожить» от нескольких минут до нескольких часов.

Молекула ДНК является более устойчивой, чем РНК и при этом меха-



Репарасома, осуществляющая репарацию цепи ДНК

низм починки РНК, хотя и существует в организме, но работает намного слабее. Системы репарации РНК-матриц не могут идти ни в какое сравнение с таковыми системами для ДНК. А теперь давайте перенесёмся в гипотетический «мир РНК» и представим себе, что произошёл разрыв нити РНК. Представим себе окисленные или химически модифицированные основания РНК, которые могут являться непреодолимым препятствием для репликации. Представим индуцированные УФ-лучами ковалентные сшивки внутри молекулы РНК и т. д. Всё это мгновенно сделает РНК-матрицу непригодной в качестве источника генетической информации. Если не починить названные повреждения, то спустя считанные минуты в присутствии кислорода (и спустя достаточно короткое время даже при его отсутствии) не будет иметься и двух одинаковых молекул РНК (Лунный, 2015).

Отсюда возникает закономерный вопрос: какие системы в гипотетическом «мире РНК» будет постоянно чинить пусть даже самую совершенную самореплицирующуюся РНК? Или мы должны просто верить в возможность бесперебойной работы РНК-организмов безо всякого ремонта и защиты от среды, которая в миллионы раз более агрессивна, чем вода современного океана?

Известный российский учёный-генетик, профессор А. Акифьев (1938–2007) в своей статье «Антропный принцип в биологии и радиобиологии», опубликованном в журнале РАН (совместно с С. Дегтярёвым), по этому поводу пишет: «Без репарации ДНК не могла бы «выжить» в условиях первичного бульона, поскольку тогда не существовала атмосфера и Земля находилась под мощным воздействием космического излучения и ультрафиолетовых лучей Солнца. Однако столь сложный механизм, как репарация, не может существовать вне клетки, точнее без клетки... Это может означать только одно: клетка и жизнь возникли одновременно»* (Акифьев, 1999).

Здесь ещё раз хочется процитировать слова профессора Е. Кунина: ***«Для достижения минимальной начальной сложности, необходимой для того, чтобы биологическая система начала движение, эта система должна обладать гораздо большей начальной сложностью. В рам-***

* В заключении своей публикации авторы делают следующий вывод: «Итак, мы приходим к неизбежному заключению, что белково-нуклеиновая жизнь, в той форме, в которой она существует на Земле, могла возникнуть только сразу и в окончательном виде как элемент предсуществовавшего плана. Поэтому в конечном счёте нельзя не согласиться [с тем], что фундаментальные свойства материи, а в случае ДНК – живой материи, есть результат не эволюции, а Творения. Отсюда следует также и заключение о том, что современные законы материального мира – это законы сохранения, а не сотворения. Ярким примером таких законов служит репарация ДНК» (Акифьев, 1999).

ках обычного эволюционного мышления невозможно даже представить решения этой головоломки» (Кунин, 2014).

Интересно отметить, что многие авторы, пишущие о проблемах «мира РНК», практически не упоминают о проблеме репарации. Например, в обзоре А. Маркова (Марков, 2015) и А. Спирина (Spirin, 2007) говорится о массе неразрешённых проблем теории неферментативной репликации, но ни единым словом не упоминается о репарации. В принципе понять учёных можно: каждый автор пишет о тех проблемах, над решением которых гипотетически можно работать, а о тех, которые принципиально нерешаемы, писать не принято – нет смысла. Так, к сожалению, негласно заведено в современной эволюционной науке.

Три вышеназванные проблемы (низкая скорость копирования, низкая точность копирования и отсутствие репарации) считаются самыми главными преградами для существования доклеточной РНК-жизни. Среди остальных препятствий хотелось бы отметить следующие:

2.8.4 Проблема праймеров. Чтобы начался процесс синтеза РНК нужен стартовый праймер (короткая РНК, играющая роль «затравки»). Но откуда брались праймеры в «колыбели жизни»? Особенно остро эта проблема стоит для протоклеток, потому что пузырьрёк, окружённый липидной мембраной, не может всасывать готовые праймеры извне – олигонуклеотиды не проходят через мембраны (Марков, 2015).

2.8.5 Проблема катализаторов. Для неферментативной репликации необходима высокая концентрация двухвалентных ионов металлов. Однако ионы металлов катализируют не только репликацию, но и деградацию одноцепочечных РНК. Кроме того, они разрушают мембраны протоклеток и повышают температуру плавления РНК-дуплексов (Марков, 2015).

2.8.6 Проблема активации и реактивации. Для прохождения неферментативной репликации нуклеотиды должны быть активированы. Активация осуществляется путём фосфорилирования, т. е. переноса фосфатных групп на нуклеотид, что делает его достаточно химически активным для образования фосфодиэфирной связи с 3'-концом другого нуклеотида. В результате фосфорилирования к каждому нуклеотиду присоединяется две дополнительные фосфатные группировки с образованием нуклеозидтрифосфаты. Для построения любой цепи ДНК или РНК используются только активированные нуклеотиды. В живой клетке фосфорилированием занимается целый класс белков-ферментов под общим названием киназы. Два фосфата присоединяются к нуклеотиду за счёт образования макроэрги-

неских фосфатных связей с использованием энергии молекул аккумуляторов – АТФ, которые, в свою очередь, «заряжаются» на сложных машинах-генераторах – АТФ-синтазах (см. далее). В результате активации каждый нуклеотид накапливает большое количество энергии, необходимой для присоединения его к растущей цепи РНК. Без активации нуклеотидов построить из них РНК практически невозможно. А вероятность спонтанной активации достаточного количества нуклеотидов в пребиотических условиях, без участия белков-ферментов, практически нулевая.

Получается, что главный фокус в бесконечной самосборки рибозимов (как и любой заявленной «саморепликации» нуклеиновых кислот), состоит в том, что в раствор добавляются компоненты с активированными нуклеотидами, отчего создаётся обманчивое впечатление «вечного двигателя». Пока что проблема активации нуклеотидов – это огромная пропасть, разделяющая лабораторные опыты и гипотетический «мир РНК». Поэтому современный неферментативный синтез РНК, производимый в лабораториях по моделированию жизни, можно сравнить с цирковым трюком иллюзиониста, где вся интрига теряется, как только раскрыт главный секрет.

Если же всё-таки проблему активации как-то удастся решить, то возникнет следующая: нуклеозид-трифосфаты наотрез отказываются проходить сквозь любые липидные мембраны. Поэтому, если нуклеозид-трифосфаты образуются в окружающей водной среде, то непонятно как они будут попадать в протоклетки.

2.8.7 Проблема гидролиза. Но даже если и эта проблема будет решена, сторонников «мира РНК» поджидает очередная: активированные нуклеотиды быстро гидролизуются до ди- и монофосфатов (по этой причине мы не получаем ни АТФ, ни нуклеозид-трифосфатов с пищей). Это в свою очередь блокирует репликацию, а существующие способы реактивации нуклеотидов портят реплицируемую матрицу. Как реактивировать такие нуклеотиды, не разрушив копируемую матрицу, непонятно (Szostak, 2012).

2.8.8 Проблема раскрытия двойной спирали. Ещё одна проблема «мира РНК» связана с невозможностью двойной цепи РНК (образовавшейся в ходе репликации) расплестись. Вот как эту проблему обрисовывает академик А. Спирин: «Комплементарная репликация молекул РНК, катализируемая РНК-реплицирующим рибозимом, неизбежно должна приводить к образованию единой двуцепочечной двойной спирали в А-форме, где одна цепь – исходная, а другая – комплементарная ей дочерняя, и эта двуспиральная конформация очень стабильна. Для дальнейшей репликации и размножения исходных (функциональных) цепей РНК эта двойная

спираль должна как-то расплетаться, и только тогда каждая её цепь вновь может служить матрицей для репликации, в том числе и для синтеза новых молекул с исходной последовательностью нуклеотидов на комплементарной цепи, т. е. к воспроизведению. Рибозимы, способные катализировать синтез комплементарных цепей РНК на матрицах одноцепочечных РНК, воспроизведены в лабораторных экспериментах (Johnston et al., 2001; см. также обзор Joyce and Orgel, 2006), но трудноразрешимая проблема разделения двуцепочечного продукта на индивидуальные цепи остаётся не решенной (Orgel, 2004). Конечно, нельзя исключать возможность появления рибозимов с активностью РНК-хеликаз, но тогда возникает другая проблема – как уберечь от расплетания локальные двуспиральные участки («шпильки») функциональных одноцепочечных РНК в функционально активной компактной конформации» (Spirin, 2007).

2.8.9 Проблема зависимости репликации от последовательности нуклеотидов в матрице. Главный недостаток всех рибозим-полимераз – сильная зависимость эффективности репликации от последовательности нуклеотидов в матрице. В отличие от белковых полимераз, рибозимам-полимерадам не всё равно какие нуклеотиды и в каком порядке стоят в копируемой матрице. Поэтому далеко не всякая матрица может быть реплицирована рибозимом (Марков, 2015). Реплицируются лишь отдельные линейные отрезки РНК. Это значит, что полученные молекулы РНК не смогут образовать вторичную структуру и выполнять свои функции, т. е. быть рибозимами-полимеразами. Вот почему рибозим никогда не сможет скопировать сам себя, о чём мы говорили выше.

2.8.10 Другие проблемы. Но даже если в будущем удастся доказать, что перечисленные проблемы в принципе разрешимы, всё равно остаются открытыми вопросы:

- как первые РНК могли удваиваться в условиях первичного бульона – ведь в нём, несомненно, присутствовали вещества, затрудняющие или даже вовсе останавливающие реакцию синтеза РНК. Такие, как, например, соли тяжёлых металлов или метаболиты, схожие с нуклеотидами и способные связываться с рибозимом, но неспособные встраиваться в цепь РНК (Spirin, 2007). «Строительные блоки РНК, нуклеотиды, – пишет американский биохимик Р. Шапиро, – сложные органические молекулы, состоящие из сахарного остатка, фосфатной группы и одного из четырех азотистых оснований. Каждый РНК-нуклеотид содержит до 10 атомов углерода, множество атомов азота и кислорода, фосфатную группу и имеет определенную конфигурацию. Все указанные атомы и группы можно соединить друг с

другом разными способами и получить тысячи химических структур, готовых включиться в цепь РНК вместо канонических нуклеотидов, однако ни с одной из них ничего подобного не происходит. Существует ещё несколько миллионов органических молекул, сходных по размерам с нуклеотидами, но в РНК они тоже не обнаруживаются» (Шапиро, 2007).

- Как происходил синтез новых цепей РНК в среде, содержащей равное количество зеркально-симметричных вариантов биомолекул (D- и L-изомеров)? Ведь при отсутствии специальных ферментов, способных точно распознавать и контролировать хиральную конфигурацию звеньев в процессе сборки, репликация нуклеиновых кислот возможна только в хирально чистой среде. Попадание в среду, содержащую D-изомеры нуклеотидов, даже малого количества L-изомеров ингибирует или вовсе блокирует синтез РНК. Это препятствие добиологической репликации, получившее название поперечного энантиомерного торможения, до сих пор не нашло своего разрешения (Szathmáry, 2000; Аветисов, 1996).

- Помимо этого, нерешённым остаётся так называемый водный парадокс. Дело в том, что для структурирования молекул РНК и выполнения ими всех негенетических функций необходима вода. Вода стабилизирует двойную спираль, отдельные двуспиральные блоки компактно свернутых одноцепочечных РНК и саму компактную упаковку макромолекул за счёт гидрофобных взаимодействий плоскостей колец азотистых оснований. При этом жидкая вода является растворителем для РНК, и создаёт условия для перемещения молекул при выполнении ими своих функций. С другой стороны, ковалентная полирибонуклеотидная цепь РНК в воде термодинамически нестабильна и спонтанно гидролизует, особенно при повышении температуры, сдвиге pH и в присутствии катионов ряда металлов. В отличие от ДНК, ей свойственна и кинетическая нестабильность, обусловленная прежде всего природой сахарного компонента её остова: остаток рибозы несёт свободную 2'-гидроксильную группу в цис-положении по отношению к фосфорилированной 3'-гидроксильной группе и может атаковать фосфат, связывающий два рибозных остатка, результатом чего является образование нестабильной триэстерной группировки, спонтанный гидролитический распад которой ведёт к разрыву рибозофосфатного остова. Кроме того, в воде, особенно при её подкислении, происходит гидролитическая депуринизация РНК (разрушается связь пуринового основания с остатком рибозы), а при подщелачивании аденин и цитозин легко подвергаются окислительному дезаминированию и превращаются, соответственно, в гипоксантин и урацил (Spirin, 2007; Benner, 2006).

2.8.11 Неестественные условия экспериментальной проверки.

Эксперименты, которые проводят учёные для изучения эволюции РНК, в своём большинстве некорректны, поскольку никоим образом не имитируют реальные природные условия. В качестве примера ниже приведена сокращённая выписка из методики по подготовке синтеза полинуклеотидов на полинуклеотидных матрицах, содержащих цитозин и урацил. «Для приготовления моонуклеозид-5'-фосфо-2-метилимидазолов брали 1 г сухого моонуклеотида, 2 г 2-метилимидазола и растворяли в 20 мл ДМСО (конечная концентрация 200 мМ). Затем смесь немного подогревалась и перемешивалась до полного растворения. После этого добавляли 20 мл диметилформамида (стандарного растворителя при химических реакциях), 1 мл триэтиламина, 1,4 г трифенилфосфина и 1,6 г 2,2'-дипиридилдисульфида. Выдерживали 2 ч. Чтобы получить преципитат, продукт добавляли каплями в 2-литровый сосуд, содержащий 800 мл ацетона, 500 мл эфира, 60 мл триэтиламина и 4 мл насыщенного NaClO_4 -ацетона. Смесь аккуратно перемешивали на протяжении 15 мин до полного образования натриевой соли. Затем преципитат собирали центрифугированием, отмывали от ацетона и высушивали...» (Joyce, 1984). Вполне понятно, что этот эксперимент представляет собой целенаправленный, тщательно спланированный синтез в условиях, невыполнимых для случайного пребиотического синтеза. Однако при этом авторы, без зазрения совести, заявляют, что проводили неферментативный матричный синтез на случайных кополимерах.

В других работах «демонстрирующих» эволюцию рибозимов использовалась обратная транскриптаза и РНК-полимераза (Beaudry, 1992; Wright, 1997). Очевидно, что учёные готовы идти на любые уловки, чтобы хоть как-то обосновать свою веру в «мир РНК» (Брежестовский, 2015).

2.8.12 Проблема перехода «мира РНК» к белок-синтезирующему миру. Но если даже предположить, что «мир РНК» когда-то и существовал, то рано или поздно он должен был перейти к синтезу белка. Но как? «Как мог из этого мира возникнуть спонтанно «Мир ДНК–РНК–белки»? – пишет профессор П. Брежестовский из университета Экс-Марсель (Франция), – Какие движущие силы привели к появлению сложнейших и очень точных программ ДНК, определяющих необычайные многоэтапные механизмы синтеза белков, формирования и функционирования клеток, а также возникновению сложных, многоэтапных, гармоничных и четко регулируемых взаимодействий, определяющих синтез исходных компонентов и множество других процессов, наблюдаемых в современных биологических организмах? Как возникли рибосомы – сложнейшие фабрики белка? Наконец, как появились информационные программы, формирующие энергообе-

спечение клеток? Эти проблемы не имеют хотя бы кажущихся маловероятными решений. Пропасть между предлагаемым «Миром РНК» сценарием и современным миром живых систем настолько бездонна, что это осознают даже настойчивые его сторонники» (Брежестовский, 2015).

«Проблема перехода от древнего мира РНК к современному белок-синтезирующему миру – наиболее трудная даже для чисто теоретического решения, – отмечает академик А. Спирин. – Возможность абиогенного синтеза полипептидов не помогает в решении проблемы, т. к. не просматривается никакого конкретного пути, как этот синтез мог бы быть сопряжён с РНК и подпасть под генетический контроль. Генетически контролируемый синтез полипептидов и белков должен был развиваться независимо от первичного абиогенного синтеза, своим путём, на базе уже существовавшего мира РНК. В литературе предложено несколько гипотез происхождения современного механизма биосинтеза белка в мире РНК, но, пожалуй, ни одна из них не может рассматриваться как детально продуманная и безупречная с точки зрения физико-химических возможностей» (Спирин, 2001).

Е. Кунин называет эту проблему второй по значимости (после низкой каталитической эффективности рибозимов) проблемой «мира РНК» (Кунин, 2014).

2.8.13 Подводя итог гипотезы «мира РНК». Несмотря на огромные вдохновение, которое принесла в науку идея мира рибоорганизмов, сегодня уже многие учёные откажутся рассматривать этот «мир» в качестве правдоподобной модели добиологической жизни.

Один из отцов этой гипотезы, Лесли Орджел (1927–2007), пишет: «Мы предположили, что РНК могла появиться первой и образовать то, что сейчас называется «миром РНК» – миром, в котором РНК катализирует все реакции, необходимые для того, чтобы предшественник общего предка живых существ выживал и размножался... РНК могла затем развить способность соединять аминокислоты в белки. Такой сценарий мог возникнуть в случае, если бы пребиотическая РНК имела два свойства, ненаблюдаемые сегодня: способность удваиваться без помощи белков и способность катализировать весь путь белкового синтеза» (Orgel, 1994).

А вот, что сказал на одной из последних конференций по проблемам происхождения жизни (2009) российский учёный из Института биологии гена РАН, профессор А. Альтштейн: «С моей точки зрения мир РНК никогда не существовал, это идея, ведущая в тупик. Самый главный момент в происхождении жизни – это не образование различных олигонуклеотидов и полинуклеотидов, самое главное, чтобы образовался ген – кодирующий, самовоспроизводящийся... Так вот, по тем моделям, которые предлагает

гипотеза мира РНК, возникновение такой системы невозможно. Мы имеем здесь ситуацию, похожую на ту, которая была с теорией Опарина. Она была очень важной, она принесла много знаний, но она не могла в принципе объяснить происхождение жизни, так как не учитывала гены. Гипотеза мира РНК также дала очень много, особенно в изучении рибозимов, она учитывает необходимость объяснить возникновение генов, но не может объяснить происхождение первого гена, а значит – первого живого организма. Сообщество полинуклеотидов, необходимые для возникновения первого живого организма по гипотезе мира РНК – это совершенно неправдоподобная идея» (Проблемы, 2009).

Профессор Евгений Кунин в своей книге «Логика случая», подводя итог размышления о «мире РНК», пишет: «Невзирая на все достижения «рибозимологии», ни одна рибозим-полимераза даже не приближается к уровню эффективности, который необходим, чтобы всерьез рассматривать репликационные системы, состоящие из одних РНК, в качестве ключевого промежуточного звена в эволюции жизни. Ни один рибозим не способен катализировать синтез нуклеотидов или даже сахаров, входящих в их состав. Даже если мы закроем глаза на эти проблемы, путь от предполагаемого мира РНК к системе трансляции невероятно труден. Общие представления касательно функций абиогенных аминокислот и, возможно, пептидов в мире РНК, такие как роль кофакторов рибозимов, оказываются плодотворными и совместимы с экспериментальными данными. Тем не менее разбиение эволюции системы трансляции на последовательные шаги, каждый из которых давал бы биологически объяснимое селективное преимущество, чрезвычайно затруднительно даже в качестве спекулятивной схемы, не говоря уже об экспериментальной проверке» (Кунин, 2014).

Профессор биохимии и биофизики в Университете Северной Каролины (США) Чарльз Картер своё отношение к гипотезе выразил так: «Что касается меня, то я никогда не подпишусь под данной точкой зрения на происхождение жизни. И я отнюдь не одинок в своём мнении. Гипотеза мира РНК почти полностью приводится в действие потоком данных, поступающих из высокотехнологических комбинаторных библиотек (combinatorial libraries) [ген. инж.], где гипотеза предбиологического мира пользуется «единодушной поддержкой». Существует несколько серьёзных проблем, связанных с этой точкой зрения, и я считаю её не более чем широко распространённой фантазией» (Bernhardt, 2012).

Профессор Роберт Шапиро, критикуя гипотезу рибозимного начала жизни в своей известной публикации в журнале «В мире науки» заключает: «Для спасения теории первичности РНК её сторонники создали целое новое направление в той области науки, которая занимается происхождением

жизни. Они пытались доказать, что РНК и её компоненты можно получить в лаборатории из небιологических молекул в ходе последовательных тщательно контролируемых реакций в условиях, сходных с теми, что существовали на первобытной Земле.

Для того чтобы понять, насколько успешными могут быть подобные попытки, представьте следующую ситуацию. Некий человек играет в гольф на поле с 18 лунками и вдруг приходит к мысли, что мяч способен перемещаться и без его участия, причем исход игры не изменится. Такое возможно только в том случае, если та или иная комбинация природных катализмов (землетрясений, сильных ветров, смерчей, наводнений и т. д.) рано или поздно (вероятнее всего, очень поздно) приведет к желаемому результату. То же самое касается возникновения РНК: его образование не противоречит никаким законам физики, но вероятность подобного события стремится к нулю.

Некоторые химики предположили, что в «мире-до-РНК» вначале появился более простой репликатор, который и стал «правителем», причем он должен был обладать ферментативными свойствами, как и РНК. Однако никаких следов подобного древнейшего образования не обнаружено.

Но даже если бы природа «приготовила» примитивный «бульон» из подходящих ингредиентов – нуклеотидов или каких-то более простых аналогов, то их спонтанное слияние в репликатор было бы невозможно без ещё более невероятных стечений обстоятельств. Предположим всё-таки, что «бульон» был так или иначе «сварен», причем в таких условиях, которые способствовали соединению его компонент в цепочки. В нем присутствовали мириады «неподходящих» блоков, включение которых в растущую цепочку сразу лишило бы её способности функционировать как репликатор (например, молекула с одной «ручкой», которой она держится за соседний блок, вместо двух, необходимых для роста цепи).

Теоретически природа могла бы соединять блоки случайным образом, составляя разнообразные короткие цепочки вместо гораздо более протяженной сети со стабильной основой, необходимой для выполнения функций репликатора и катализатора. Вероятность успешной реализации второго сценария крайне мала; если бы он и осуществился однажды в каком-то уголке Вселенной, то лишь по счастливой случайности» (Шапи́ро, 2007).

В целом, можно сказать, что бесперспективность гипотезы «мира РНК» была очевидна с самого начала. Ведь уже давно известным, что молекулы РНК являются слабыми катализаторами, их ферментативная активность ограничивается бедностью мономеров, входящих в их состав – пуриновых и пиримидиновых азотистых оснований, что несравнимо с 20 аминокислотами – компонентами белковых ферментов. РНК не способны замещать

структурные и многие другие функции белков, а потому любые сценарии жизни на основе «мира РНК» – ни что иное, как утопия, «научный» миф, хотя и имеющий за плечами массу «обнадеживающих» экспериментальных результатов.

МОГУТ ЛИ МОЛЕКУЛЫ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ СОЗДАВАТЬ СВОИ КОПИИ БЕЗ УЧАСТИЯ БЕЛКОВ?

НЕВЕРНО: Могут. Молекулы РНК способны осуществлять реакции собственно до воспроизведения.

ВЕРНО: Нет. Такие РНК не обнаружены. Полное воспроизведение молекул ДНК или РНК без участия сложного белкового комплекса ферментов невозможно.

2.9 Происхождение информации

Как известно, информация о строении живых организмов содержится в генетическом коде. Генетический код – это своего рода набор инструкций для перевода нуклеотидной последовательности в полипептидную. Таким образом код составляют два компонента. Первый – кодирующий компонент – это четыре азотистых основания, составляющие цепи РНК или ДНК. Второй – кодируемый компонент генетического кода – это аминокислоты, из которых состоят белки. Каким образом он мог возникнуть?

Этот вопрос интересовал исследователей ещё до того, как код был полностью расшифрован, и уже тогда были предложены три модели: (1) стерическая комплементарность, обеспечивающая специфическое взаимодействие между аминокислотами и соответствующими им кодонными или антикодонными триплетами нуклеотидов, (2) «застывшая случайность», то есть закрепление случайного кода, который стало практически невозможно существенно изменить позже, и (3) адаптивная эволюция кода, начавшаяся с первоначально случайного соответствия кодонов аминокислотам (Crick, 1968; Freeland, 2000).

Сегодня ни одна из этих моделей не получила подтверждения. Как оказалось, структура кода явно неслучайна: он обладает так называемой вырожденностью (избыточностью), которая означает, что каждую аминокислоту (два исключения – метионин и триптофан) кодирует более, чем один триплет (см. таблицу). Это обуславливает высокую устойчивость кода к мутациям и ошибкам трансляции, как впервые отметил К. Вёзе (Woese, 1967), а С. Фриленд и Л. Херст впоследствии показали количественно (Freeland, 1998). Если бы ёмкость генетического кода использовалась без остатка, то

есть каждому триплету соответствовала бы только одна аминокислота, его защищённость была бы весьма слабой: любая нуклеотидная мутация могла оказаться катастрофической.

Теоретически в каждом триплете можно провести 9 однократных замен. Общее количество возможных замен нуклеотидов $61 \times 9 = 549$. Из них 23 замены нуклеотидов приводят к появлению кодонов терминаторов трансляции (стоп-кодонов), 364 замены являются консервативными (134 замены не меняют кодируемую аминокислоту и 230 замен не меняют класс кодируемой аминокислоты), 162 замены приводят к смене класса аминокислоты, т. е. являются радикальными. Таким образом помехоустойчивость генетического кода (отношение числа консервативных замен к числу радикальных замен) составляет $364 : 162 = 2,25$.

Стандартный генетический код

Аминокислота	Кодон	Аминокислота	Кодон
Ala	GCU, GCC, GCA, GCG	Leu	UUA, UUG, CUU, CUC, CUA, CUG
Arg	CGU, CGC, CGA, CGG, AGA, AGG	Lys	AAA, AAG
Asn	AAU, AAC	Met	AUG
Asp	GAU, GAC	Phe	UUU, UUC
Cys	UGU, UGC	Pro	CCU, CCC, CCA, CCG
Gln	CAA, CAG	Ser	UCU, UCC, UCA, UCG, AGU, AGC
Glu	GAA, GAG	Thr	ACU, ACC, ACA, ACG
Gly	GGU, GGC, GGA, GGG	Trp	UGG
His	CAU, CAC	Tyr	UAU, UAC
Ile	AUU, AUC, AUA	Val	GUU, GUC, GUA, GUG
Старт	AUG	Стоп	UAG, UGA, UAA

Подавляющее большинство ошибок при трансляции происходит из-за наложения неправильной т-РНК на триплет м-РНК, в результате чего должна монтироваться другая аминокислота. Такая ошибка как правило происходит с третьим нуклеотидом триплета, т. к. там кодон и антикодон находятся в слабом взаимодействии. Однако кодировка устроена так, что именно эти частые ошибки лучше перехватываются. Из таблицы стандартного генетического кода видно, что триплеты, которые отличаются друг от друга лишь последним нуклеотидом в триплете во многих случаях кодируют одну аминокислоту.

Таким образом, в генетическом коде используется чрезвычайно удачный вариант. Проведённые Гейгом и Гарстом (Haig, Hurst, 1991) систематические эксперименты показали, что генетическое кодирование устроено таким образом, что только 2 из 10000 случайно генерируемых кодов проявляют лучшую устойчивость к ошибкам. Новейшие исследования, которые принимают во внимание ещё и другие свойства, показывают, что это количество составляет даже 1 из 1000000. Создаётся впечатление, что оптимальность генетического кода оказывается тем больше, чем глубже мы его постигаем (Юнкер, 2013).

Высокая надежность кода опровергает сценарий «застывшей случайности», поскольку очевидно, что из массы возможных вариантов случайно не могут возникать самые лучшие.

С моделью стерической комплементарности также возникли проблемы. До сих пор неизвестно, существует ли стереохимическое соответствие между аминокислотами и соответствующими триплетами нуклеотидов (кодонами). Ответ на этот кажущийся простым вопрос оказывается на удивление трудноуловимым. Ранние попытки обнаружить избирательность взаимодействия (поли)аминокислот и полинуклеотидов были безрезультатны, что говорит о том, что если специфическое сродство и существует, то отнюдь не строгое, и взаимодействие, вероятно, слабо и зависимо от внешних факторов. Хотя и имеются некоторые сообщения о неслучайных взаимодействиях аминокислот с олигонуклеотидами, но в целом попытки продемонстрировать такое взаимодействие напрямую оказались неудачными.

Интерес к стереохимической гипотезе возродился с появлением метода усиления отбора (SELEX-методов, от англ. Systematic Evolution of Ligands by Exponential Enrichment) для выделения олигонуклеотидов (аптамеров), избирательно связывающихся с аминокислотами. Для восьми аминокислот с большими боковыми цепями были выделены аптамеры, значительно обогащённые триплетами нуклеотидов, идентичными либо кодонам, либо антикодонам соответствующей аминокислоты. Результаты этих экспериментов, правда, несколько неубедительны, так как для одних аминокислот аптамеры содержат в основном кодоны, тогда как для других – в основном антикодоны. Рассматриваемые в совокупности, данные по сродству аптамеров к аминокислотам считаются серьезным аргументом в поддержку стереохимической гипотезы происхождения кода, однако реальная надежность и значимость этих результатов остаются под большим вопросом.

Наличие как кодонов, так и антикодонов в аптамерах для нескольких аминокислот затруднительно интерпретировать в терминах стереохимической комплементарности. Кроме того, аминокислоты, для аптамеров которых получены подробные данные, как мы отметили, имеют большие и

сложные боковые цепи (которые, предположительно, необходимы для избирательного взаимодействия с аптамерами). Однако весьма сомнительно, что такие аминокислоты могли появиться в неограниченном количестве в условиях древней земли. До тех пор, пока не будут получены аналогичные результаты для простых, предположительно древних аминокислот, эксперименты по отбору аптамеров затруднительно рассматривать как убедительный аргумент в пользу стереохимической гипотезы происхождения кода (Кунин, 2014).

Что касается адаптивной эволюции кода, то для такого сценария у нас решительно нет никаких данных. Генетический код, и связанные с ним системы, не поддаются редуцированию, и их возникновение с помощью известных эволюционных механизмов не понятны. Сведения, полученные в начале исследований генетического кода (1960-е годы), свидетельствовали, что генетический код универсален, то есть одинаков у всех организмов. Это считалось большим доводом в пользу эволюции. «Универсальность генетического кода и единство аминокислотного состава белков свидетельствует о происхождении всех живых организмов от единого предка», – говорится в современных учебниках по биологии (Пименов, 2014). Однако это не совсем верное заключение. То, что все столы четырёхногие не говорит о том, что они произошли от одного стола-предка. Универсальность генетического кода может говорить лишь о том, что жизнь построена по единому плану, но никак ни об эволюции. Свидетельствовать об эволюции может только очевидность какого-то развития. Но как раз-таки с ней и возникли проблемы.

В 1979 г. было обнаружено, что генетического кода, считавшийся универсальным, имеет исключения, и таких исключений достаточно много. Например, в митохондриях млекопитающих стоп-кодон UGA отвечает не за окончание трансляции, а за аминокислоту триптофан. С другой стороны, триплеты AGA и AGG – это стоп-сигналы в митохондриях, а в «универсальном» коде они отвечают за аргинин. Отличающиеся коды нашли также в хромосоме различных бактерий и ядерных ДНК некоторых эукариот (см. таблицу). Поэтому сегодня говорят, что генетический код является «квазиуниверсальным».

Интересное, что организмы у которых обнаружены отличные от универсального кода могут принадлежать к одной систематической группе. Например, одни виды микоплазм кодируются стандартным кодом, другие – своим собственным; у дрожжей также есть два различных кода для различных видов. В других случаях одинаковые отклонения кода могут наблюдаться у совершенно «далёких» друг от друга организмов. К примеру, митохондрии позвоночных, беспозвоночных, плоских червей, иглокожих,

кодируются разными кодами, а плесневых грибов, простейших и кишечнополостных – одним!

Отклонения от «универсального» генетического кода

Геном	Организм	Кодон	Универсальное значение	Читается как
Митохон- дрии	Позвоночные, дрозофи- ла, дрожжи, плесневые грибы, трипаносомы	UGA	Стоп	Trp
	Сахаромицеты	CU (U,C,A,G)	Leu	Thr
		CGG	Arg	Trp
	Позвоночные, дрозофи- ла, сахаромицеты	AUA	Ile	Met
	Морская звезда	AAA	Lys	Asn
	Позвоночные	AG (A,G)	Arg	Стоп
	Морская звезда, дрозо- фила	AGA	Arg	Ser
	Аскарида, нематода	UUG	Leu	Старт
		AUU	Ile	Старт
	Нематода	AUA	Ile	Старт
	Млекопитающие	AU (U,C,A)	Ile	Старт
Ядро	Микоплазма	UGA	Стоп	Trp
	Ресничные инфузории	UAA	Стоп	Gln
	Сумчатые грибы (Candida, Debaryomyces)	CUG	Leu	Ser

Первая идея, которая приходит в голову для объяснения данного факта – это произошедшая в ходе эволюции (по неизвестной причине) смена кодона. Но как такое могло случиться? Ведь перепрограммирование одного кода изменило бы все последовательности аминокислот, в которых участвует соответствующий кодон, что повлекло бы за собой масштабные нарушения функциональности. В обзорной работе (Miranda, 2006), посвящённой гипотезам эволюции генетического кода в ядерных ДНК дрожжей, указывается, что изменение значения кодона CUG от лейцина к серину «удивительным образом потребовало бы перепрограммирования около 30000 кодонов CUG», которые являются в предполагаемом предке этих дрожжей, и надо было бы попробовать спросить «как предок этих дрож-

жей «справился» с такой дестабилизацией его протеинового устройства», то есть, как он пережил этот процесс.

Немалые проблемы также создаёт изменение стоп-кодонов. Если, например, состоялась бы изменение, сделавшее кодон AGA (аргинин в универсальном коде) стоп-кодоном, то синтез протеина остановился бы (однако без окончательного прекращения) в тех местах, где аргинин кодируется AGA. Следствием чего стали бы нефункциональные фрагменты протеина.

Таким образом даже с относительно незначительным перепрограммированием кода связаны немалые проблемы. В работе И. Миранды и др. (Miranda, 2006) ведётся дискуссия о различных гипотезах перепрограммирования генетического кода, но авторы едины во мнении, что «молекулярные механизмы, лежащие в основе изменений кода... остаются почти полной тайной».

2.10 Происхождение белоксинтезирующей системы

Перечисляя основные проблемы гипотезы «мира РНК», мы отметили, что для многих учёных самым сложным для понимания является момент перехода от гипотетического мира нуклеиновых кислот к современным белоксинтезирующим системам (Спирин, 2001). В чём тут сложность? Всё упирается в проблему возникновения двух взаимосвязанных и взаимозависимых структур: генетического кода и механизма его реализации. Именно здесь теория абиогенеза заходит в тупик: само существование генетического кода, т. е. последовательности триплетов нуклеотидов ДНК шифрующих определённую аминокислоту не будет иметь никакого значения, если не будет существовать механизма считывания, расшифровки и синтеза белка. В живых клетках в состав этого механизма входят:

1. *Транспортные РНК (т-РНК)*, осуществляющие транспортировку аминокислот к месту синтеза белка и принимающие непосредственное участие в наращивании полипептидной цепи, присоединяясь – будучи в комплексе с аминокислотой – к кодону и-РНК и обеспечивая необходимую для образования новой пептидной связи конформацию комплекса. Т-РНК состоят примерно из 70 нуклеотидов. Для считывания всей кодовой таблицы необходимо минимум 31 т-РНК, тем не менее у самых простых организмов (бактерий) их насчитывается 45.

2. *Аминоацил-т-РНК-синтетазы* – ферменты, которые активируют аминокислоты и нагружают ими т-РНК. Каждая синтетаза (их должно быть не меньше 20) узнаёт только свою аминокислоту и навешивает её на свою т-РНК.

3. *Рибосомы*, играющие роль организующего центра в чтении генетиче-

КАК УСТРОЕН ГЕН: НЕКОТОРЫЕ ПОДРОБНОСТИ

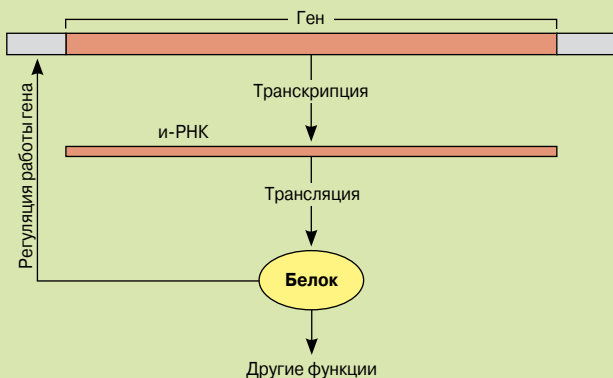
Долгое время учёные считали, что кодировка информации в генетическом коде довольно проста: на определённом участке молекулы ДНК строгая последовательность нуклеотидов определяет структуру одной молекулы белка (этот участок ДНК был назван геном). Из этого логически вытекало, что каждый ген может дать не более одной молекулы белка.

Но оказалось, что такое представление о кодируемой информации неверно, во всяком случае применительно к эукариотам (простейшим, грибам, растениям... и человеку). В 1977 г., к удивлению всего научного мира, Ф. Шарп и Р. Робертс открыли, что у высших организмов гены «разорваны». Они показали, что в ДНК последовательность нуклеотидов, кодирующая белок, расположена не подряд, а прерывается более или менее протяжёнными некодирующими последовательностями. Эти вставки были названы интронами, а разделённые значащие части – экзонами. Как известно, молекула ДНК предназначена для хранения генетической информации и биосинтез белка на ней не происходит. Вся информация, записанная в гене, переносится на молекулу РНК (этот процесс называется транскрипцией). Именно эта молекула становится матрицей для синтеза белка. Довольно скоро выяснилось, что после завершения транскрипции интроны из молекулы РНК вырезаются, а экзоны соединяются, образуя непрерывную кодирующую последовательность нуклеотидов. Процесс вырезания-сшивания называется сплайсингом. Молекулу РНК с экзонами и интронами стали называть первичным транскриптом (пре-и-РНК), или гетерогенной ядерной РНК (гя-РНК). Её можно сравнить с книгой, текст которой прерывается бессмысленными вставками. Перед трансляцией эти вставки вырезаются, а куски основного текста сшиваются стык в стык, так что получается один осмысленный рассказ. Сплайсинг осуществляет особая макромолекулярная «машина» – сплайсосома. Она находит участок РНК, подлежащий исключению, разрезает молекулу РНК в нужных местах, а затем аккуратно соединяет свободные концы экзонов (Аст, 2005; Вельков, 2005). В итоге получается молекула и-РНК, с которой осуществляется трансляция.

Но это ещё не всё. Исследования показали, что общая длина всех интронов значительно превышает длину всех экзонов. Например, из 7000 пар нуклеотидов гена овальбумина курицы на долю экзонов приходится всего 1872, то есть почти 75% длины ДНК составляют интроны (Жимулев, 2000). Всё это огромное количество некодирующих участков ДНК учёные-эволюционисты безоговорочно отнесли к генетическому «хламу», накопившемуся за долгие годы эволюции. Клетки эукариот не смогли избавиться от «мусорной» ДНК, потому были вынуждены «изобрести» этот сложный механизм вырезания и сшивок нуклеотидов после каждой процедуры считывания информации (Гиббс, 2004).

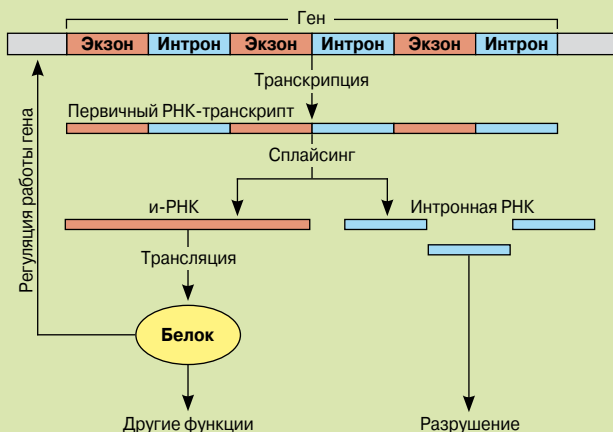
Однако их выводы оказались слишком поспешными. Было показано, что в ходе сплайсинга вырезаются (а затем удаляются или меняют местоположение) и отдельные экзоны. В результате этого изменяется смысл текста и-РНК. Те экзоны, которые могут быть вырезаны, получили название альтернативные, а сам сплайсинг – аль-





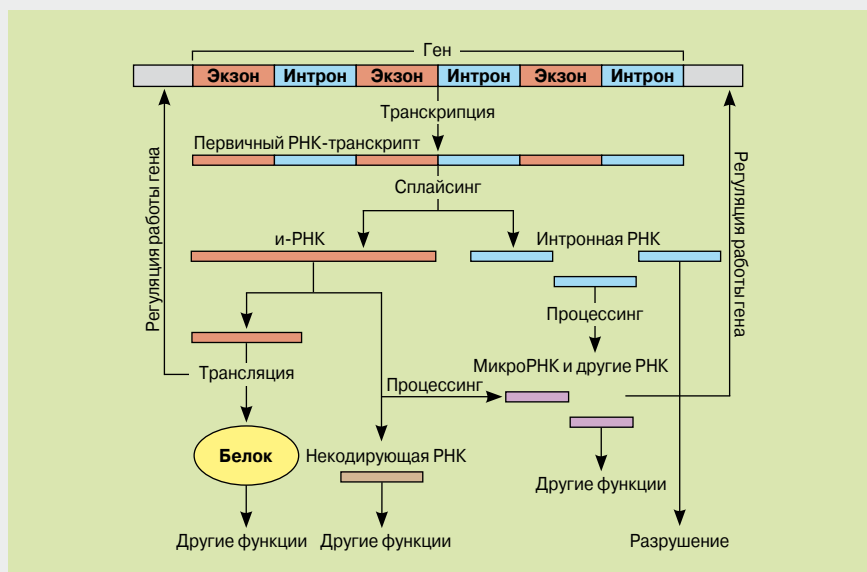
Регуляция работы генов у прокариот

Геномная ДНК прокариот почти целиком состоит из белоккодирующих генов. Они служат матрицами для синтеза РНК, которые немедленно транслируются в белки. Последние регулируют работу генов и выполняют другие функции в клетке.



Старый взгляд на регуляцию работы генов у эукариот

Гены у эукариот состоят из экзонов – последовательностей, каждая из которых кодирует часть белковой молекулы, и интронов – некодирующих участков. Транскрипции подвергается ген целиком, но затем из первичного транскрипта вырезаются интронные РНК, а экзонные РНК сшиваются друг с другом с образованием информационной РНК (и-РНК). На ней синтезируется белок, а интронная РНК разрушается за ненадобностью.



Новый взгляд на регуляцию работы генов у эукариот

Некоторые интронные РНК и даже часть экзонных принимают участие в регуляции работы генов, связываясь с молекулами ДНК, другими РНК и белками. Воздействуя на синтез белков на различных уровнях, некодирующие РНК могут служить дополнительным источником генетической информации.

тернативным. Благодаря этому процессу один ген может дать начало нескольким белкам. Некоторые гены содержат большое число альтернативных экзонов. Например, ген *Dscam* мухи дрозофилы содержит 115 экзонов, и 95 из них – альтернативные. При этом в окончательном варианте матричной РНК присутствуют только 24 экзона, из них 20 – обязательных, одинаковых для всех вариантов, а 4 – альтернативных. Альтернативные экзоны выбираются из четырех последовательных наборов, содержащих 12, 48, 33 и 2 экзона соответственно. Из каждого набора берётся только один экзон. Математический расчёт показывает, что в этом случае возможно 38016 различных комбинаций экзонов, а значит альтернативный сплайсинг гена *Dscam* теоретически может породить столь же большое число разных белков (Лазовская, 2006; Modrek, 2002). У человека 94% генов подвержено альтернативному сплайсингу. Альтернативный сплайсинг имеет фундаментальное значение для развития эукариот, правда, остаётся непонятным, как клетка узнаёт, какие белки ей нужно синтезировать. Известно только то, что для этого существуют специальные регуляторы. Они связываются с короткими нуклеотидными последовательностями внутри пре-и-РНК и тем самым либо способствуют сплайсингу, либо, наоборот, не подпускают компоненты сплайсосомы к концам экзона, и тогда экзон вырезается и выбрасывается вместе с соседними интронами.

Но что происходит с интронами и экзонами, превратившимися в интроны? Долгое время считалось, что они просто разрушаются, но оказалось, что интронные РНК содержат определённые участки, способные осуществлять регуляцию других молекул РНК, ДНК и белков. Эти РНК подвергаются так называемому процессингу с образованием небольших сигнальных фрагментов. У растений, животных, грибов уже обнаружены сотни таких «микроРНК», многие из которых контролируют важные для развития организма процессы: поддержание стволовых клеток, клеточную пролиферацию, апоптоз... (Маттик, 2005).

Таким образом, сплайсинг – это не механизм избавления от генетического мусора. Он обеспечивает образование широкого спектра белков и РНК в клетках различных тканей, при том что клетки содержат одинаковый набор генов. Да и самого «генетического мусора» как такового не существует. Интронные РНК обладают множеством необходимых организму свойств (Вельков, 2005). С открытием механизмов альтернативного сплайсинга термин «ген» утратил свой первоначальный смысл и, чтобы избежать путаницы, учёные стали называть любой транскрибируемый в РНК участок ДНК транскрипционной единицей. Старая аксиома «один ген – один белок» также перестала работать. Один ген может дать начало огромному количеству белков (Аст, 2005).

Интересно, что учёные долгое время не желали заниматься изучением интронных РНК. Эволюционное мышление говорило лишь о «мусоре», и никто не мог себе представить существование генетической программы такого уровня сложности. Как отмечает Дж. Маттик, директор Института молекулярной биологии Квинслендского университета (Австралия), «это классический пример упорного нежелания считаться с объективными данными... Недооценка роли некодирующих последовательностей... может стать одной из самых серьёзных ошибок в истории молекулярной биологии» (Гиббс, 2004).

ской информации. Это молекулярные машины состоят из двух рибонуклеопротеидных субъединиц: малой и большой. В состав малой субъединицы у бактерий входит молекула рибосомной РНК (р-РНК) длиной около 1500 нуклеотидов плюс ещё одна небольшая молекула р-РНК (110–120 нуклеотидов) и 21 разный белок. В состав большой субъединицы – одна молекула р-РНК длиной около 2700 нуклеотидов плюс 32 разных белка.

4. Факторы трансляции. Это понятие объединяет семейство белков, которые не входят в состав рибосомы постоянно, но взаимодействуют с ней на разных этапах трансляции.

а) факторы инициации (у бактерий их 3: IF-1, IF-2, IF-3) обеспечивают начало всего процесса трансляции: объединение рибосомы с и-РНК, отвечают за взаимодействие кодона AUG на рибосоме со специальной иницирующей т-РНК;

б) факторы элонгации (их тоже 3: EF-Tu, EF-Ts, EF-G) обеспечивают

связывание антикодонов заряженных т-РНК с соответствующими кодонами и-РНК на рибосоме и продвижение рибосомы вдоль матрицы (и-РНК);

в) *факторы терминации* (их опять же 3: RF1, RF2, RF3) опознают стоп-кодоны.

Аппарат трансляции у эукариот несколько сложнее: в рибосоме побольше и белков, и факторов трансляции, например, одних факторов инициации не меньше 10-и (Инге-Вечтомов, 1996). ← 6

Выведение из строя хотя бы одного из этих компонентов блокирует синтез белка. Причём весь этот материальный преобразователь РНК должен быть закодирован тем же генетическим кодом, который он считывает. Важно также учесть, что работа всего аппарата трансляции окажется неэффективной в случае, если в системе будет отсутствовать хотя бы одна необходимая для сборки деталь – аминокислота. К тому же весь процесс энергозависимый. Таким образом, мы вновь сталкиваемся с проблемой «курицы и яйца», из которой, как уже отмечалось, видится только один выход: вся эта система должна случайно самозародиться в одном месте и в одно время. Но возможно ли это? Какова вероятность зарождения простейшей белок-синтезирующей системы со всеми необходимыми для жизни белками вместе или хотя бы по отдельности?

2.11 Парадокс миллиона обезьян

Чтобы ответить на последний вопрос, произведём элементарные математические расчёты. Размер ключевых белков трансляции – АРСаз – варьирует от 341 у α -субъединицы т-РНКФен-синтетазы до 900 у т-РНКАла-синтетазы (Виолован, 2001). Давайте предположим, что для правильного функционирования одного фермента необходимо лишь 200 аминокислот. В этом случае вероятность его случайного появления будет $1:20^{200}$ или $1:10^{260}$ (и это только в том случае, если выбор идёт не из всех известных (более 180) аминокислот, а только из 20-и канонических; все аминокислоты находятся в L-форме; все образующиеся связи – пептидные). Молекула ДНК, участвующая в простейшем цикле кодирования белков, по мнению учёных, должна состоять как минимум из 600 последовательностей нуклеотидов в определённом порядке. В этом случае вероятность её возникновения будет $1:10^{400}$ (и опять-таки при том, что все связи будут «правильными», а подборка осуществляется не более чем из 30-и известных нуклеотидов, а только из 4-х). Чтобы представить, с какими величинами мы имеем дело, можно вообразить Вселенную радиусом в 100 млрд световых лет и плотно заполнить её электронами радиусом 10^{-13} см. Таких электронов наберется 10^{126} . Если в каждой ячейке объёмом в один электрон каждую микросекун-

Сможет ли гипотетическая обезьяна, удаляя случайным образом по клавишам пишущей машинки, напечатать одну из пьес Шекспира? Учёные говорят, что даже если бы вся обозримая часть Вселенной была бы заполнена обезьянами размерами с атом, печатающими на протяжении всего времени её существования, вероятность набора ими «Гамлета» фактически была бы равна нулю.



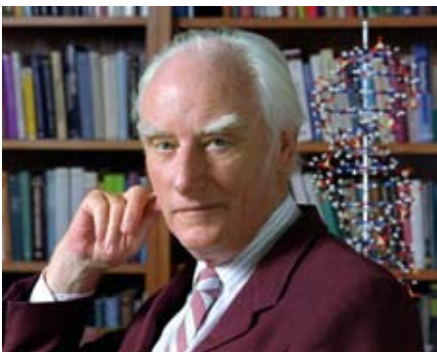
ду будет испытываться по одному варианту, то после 100 млрд лет работы можно успеть испытать всего лишь 10^{150} (!) вариантов (Тарасов, 1981)*.

Как видите, это огромное число ничтожно по сравнению с числами, которые нам нужны. А представьте, что белок и ДНК должны случайно образоваться сразу и одновременно. В науке данную проблему называют парадоксом миллиона обезьян, суть которой сводится к следующему: за сколько лет миллион обезьян, посаженных за пишущие машинки, напечатают полное собрание произведений Шекспира или хотя бы одного «Гамлета»?

В настоящее время по данному вопросу существует несколько точек зрения, некоторые из них заслуживают особого внимания.

2.11.1. Жизнь начинается с химической реакции. Не следует начинать рассматривать жизнь со сложных структур. Первоначальная жизнь являла собой циклы простых химических реакций, которые сегодня можно было бы воссоздать в пробирке. Такой подход к происхождению жизни лежит в основе концепции А. Руденко об эволюционном катализе, гипотезы о гиперциклах М. Эйгена и теории диссипативных структур. Основную идею этих трёх моделей можно кратко выразить следующим образом. Самоорганизуется, существует и развивается во времени и пространстве не какая-то конкретная структура, а процесс. В простейшем случае – это химическая реакция. В ходе такой реакции порождаются продукты, оказывающиеся катализаторами для следующей аналогичной или какой-то иной реакции. Продукт последней реакции становится катализатором начальной. И цепь, таким образом, замыкается. Реакционная зона, где всё это происходит, отличается от окружающей среды. Этот химический реактор оказывается открытой системой: в него втягиваются исходные вещества и энергия, а выбрасываются переработанные продукты реакций и тепло. Реакционная зона может структурироваться, усложняться, удлиняя цепь

* Считается, что во всей обозримой Вселенной содержится всего 10^{77} – 10^{80} частиц – нуклонов (Дубнищева, 2003).



Известный американский биохимик, лауреат Нобелевской премии Френсис Крик полагает, что жизнь на Земле обязана своим появлением жителям других миров

сущность» (Крик, 2002), завоевавшей большую популярность. Крик считает, что выхода из парадокса миллиона обезьян не существует: вероятность $1:10^{260}$ лишена всякого смысла. Поэтому он предлагает вернуться к теории панспермии, но в уже новой редакции.

Прежняя теория космического посева в свете современных научных знаний нереалистична, считает Крик. Очевидно, что за время пребывания «спор жизни» в космосе любые гены будут разрушены космическими лучами. Понятие «вечная жизнь» также плохо укладывается в уме, а при попытке объяснить её самозарождение на других планетах мы сталкиваемся с теми же проблемами, что и на Земле. Поэтому Крик выдвигает новую гипотезу, получившую название целенаправленной панспермии. Предположим, пишет он, что на какой-то из многочисленных планет во Вселенной миллиарды лет назад возникла некая сверхцивилизация. В какой-то момент времени её жители решили распространить жизнь во Вселенной как можно шире. Для этого они начали рассылать во все уголки Вселенной космические корабли. Двигаясь со скоростью хотя бы 0,0015% скорости света (3 мили в секунду), они в среднем за 1000 лет достигнут ближайших систем с планетами и рассеют в атмосфере последних пакеты с «пассажирами». Такими пассажирами могут быть лишь высушенные в замороженном состоянии микроорганизмы. Они устойчивы к излучениям и легко перенесут сверхдлительный космический перелёт. Если условия на поверхности новой планеты окажутся для них пригодными, начнётся взрывное размножение и последует эволюция, вплоть до появления человека.

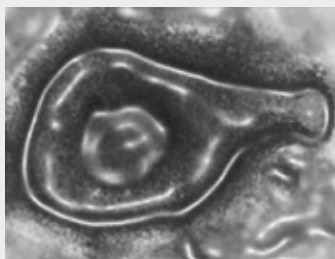
В настоящее время эта теория имеет много последователей (Розанов, 2010). Преимущество её состоит в том, что она не может быть опровергнута, т. к. находится вне области научных знаний.

2.11.3. «Жизнь не могла возникнуть случайно!» Другой выход из парадокса миллиона обезьян видят профессор Кембриджского университета Фред Хойл (1945–2001) и его коллега астроном и математик Чандра Викрамасингх. Они рассчитали, что вероятность возникновения 2000 белков, необходимых для функционирования простейшей клетки, составляет $1:10^{40000}$. Именно эту сверхастрономическую цифру мы должны принимать во внимание, когда говорим о происхождении жизни. 7 →

«Вероятность образования жизни из неодушевлённой материи равна отношению единицы к числу с 40000 нулей после неё, – пишет Хойл. – Оно достаточно велико, чтобы похоронить Дарвина и всю теорию эволюции. Никакого первичного бульона не существовало ни на нашей, ни на какой-либо другой планете, а если происхождение жизни было не случайным, то, следовательно, оно было продуктом преднамеренного акта, направляемого разумом» (Hoyle, 1981a). «Эта теория настолько очевидна, что удивляешься, почему она не принимается всеми как сама собой разумеющаяся. У меня сложилось впечатление, что большинство биологов в глубине души понимают правду, но они настолько запуганы её возможными последствиями,

НАСКОЛЬКО ПРОСТЫ САМЫЕ ПРОСТЫЕ ОРГАНИЗМЫ

7 Самым простым из известных науке клеточных организмов является *Mycoplasma genitalium* – мельчайшая бактерия размером 100–300 нм. Она содержит 517 генов, 480 из которых кодируют белки, а 37 – различные молекулы РНК. Учёные установили, что для существования *M. genitalium* необходимо около 300 генов (Чубенко, 2005). Но эта бактерия не смогла бы выжить в первичном океане, поскольку является паразитом и не может синтезировать многие вещества, которые она получает от клетки-хозяина. На роль первого организма, способного синтезировать всё самостоятельно и жить в условиях первобытной Земли, больше подходит археобактерия *Methanobacterium thermoautotrophicum*. Геном этой «простой» бактерии построен из 1855 генов. Геномы большинства известных нам микробов состоят из 2000–4000 генов и приблизительно из такого же числа белков. Поэтому Хойл и Викрамасингх рассчитывали вероятность возникновения именно 2000 белков. При этом авторы не учли появления соответствующих ДНК, РНК и др. органических соединений. А вот другой учёный – Г. Моровиц – учёл всё (Morowitz, 1968). Его расчёты показали, что вероятность возникновения микоплазмы равна $1:10^{50000000000}$, кишечной палочки – $1:10^{1000000000000}$.



Mycoplasma genitalium в электронном микроскопе

что готовы принять любую линию поведения, лишь бы только отойти от неё. Если начинаешь прямо и беспристрастно заниматься этим вопросом, не опасаясь навлечь на себя гнев научного мнения, то приходишь к выводу, что биоматериалы с их удивительным порядком должны быть следствием разумного замысла. Проблема упорядоченности, например, последовательность аминокислот в цепях, становятся понятными, как только начинаешь видеть направляющий разум» (Hoyle, 1982).

В своих работах Хойл и Викрамасингх открыто говорят о необходимости существования во Вселенной «Творца жизни – разума, значительно превосходящего наш» (Hoyle, Wickramasinghe, 1981в). Точка зрения этих знаменитых учёных не осталась без внимания. Своеобразным ответом на



Представьте себе 10^{50} слепых, которые собирают кубики Рубика, пытаясь случайно одновременно собрать их. Тогда вы поймете, каковы шансы случайного возникновения хотя бы одного из многих биополимеров, от которых зависит существование жизни. Заявление о том, что не только биополимеры, но и программа функционирования живой клетки могла случайно возникнуть в доисторическом органическом «супе» здесь, на Земле, — очевидная ерунда высшего порядка. Жизнь, должно быть, просто космический феномен.

Физик Фред Хойл

неё стала гипотеза множественности белковых форм жизни, предложенная российским учёным Б. Медниковым (Медников, 2005).

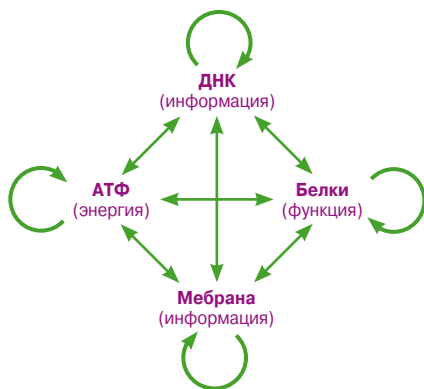
2.11.4. Гипотеза множественности форм жизни. «При расчёте вероятности происхождения жизни исходят из того, что существует только одна уникальная последовательность, которая во что бы то ни стало должна появиться на свет», – говорит российский биолог, популяризатор эволюционизма Б. Медников. – А ведь это не так. Если вариантов множество, практически бесконечность, то и пригодных для работы, например, в качестве фермента, также должно быть практически бесконечное число». Поэтому «для возникновения жизни вполне хватило бы случайных химических реакций в достаточно большой грязной луже». Обращаясь к известному парадоксу миллиона обезьян, Медников пишет, что «Гамлета» обезьяны, разумеется, не напечатают ни за какое время, «но ведь театр может обойтись и без шекспировских пьес». Гениальных произведений достаточно много, поэтому театр существовать будет всегда. Автор был настолько уверен в неопровержимости своей гипотезы, что в заключении добавил: «В утешение подскажу единственный способ опровергнуть меня. Надо посетить несколько планет земного типа из других звёздных систем. Вполне возможно обнаружить на некоторых из них, хотя бы на одной, жизнь. Вот если тамошние гены и кодируемые ими белки будут гомологичны генам и белкам земных организмов, я приму идею Творца» (Медников, 2005).

Гипотеза множества вариантов биомолекул, действительно, довольно заманчива, но парадокс миллиона обезьян она никак не разрешает. Неужели обезьяны выигрывают от того, что кроме «Гамлета» существует ещё и «Горе от ума»? Сколько бы гениальных произведений ни существовало, будь то в литературе или в музыке, даже в потенциале вероятность их появления в результате случайного нажатия кнопок равна нулю. Чтобы в этом убедиться, не обязательно лететь к далёким звёздам. Но если даже предположить, что обезьянам всё-таки удастся произвести что-нибудь стоящее, то возникает вопрос, кто в «грязной луже» бумаг размером с миллиард Вселенных будет отыскивать эти страницы, отделять их от мусора, читать и ставить пьесы? К этим вопросам автор почему-то не обращается.

2.12 «Замкнутый круг» в проблеме абиогенеза

Как мы видим, загадка «курицы и яйца» оказалась слишком сложной для решения в рамках теории абиогенеза. С проблемами такого рода мы сталкиваемся при анализе происхождения практически любой биохимической системы или клеточной структуры. Вот несколько примеров.

ВАЖНЕЙШИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ БИОСИСТЕМЫ



Для начала функционирования полноценная клетка должна иметь 4 подсистемы:

1. Систему хранения и считывания информации (ДНК).
2. Систему, обеспечивающую функции клетки (белки).
3. Систему энергетического обеспечения (АТФ).
4. Систему внутреннего гомеостаза и отграничения от окружающей среды (клеточную мембрану).

При этом все четыре подсистемы взаимосвязаны и взаимозависимы, в том числе они зависят и от самих себя:

- ДНК реплицируется с помощью ферментов, кодируемых самой ДНК.
- Белки синтезируются с помощью белковых комплексов рибосом.
- Двухслойные асимметричные фосфолипидные мембраны могут синтезироваться только на мембранах.
- АТФ синтезируется на мембранных комплексах, синтез которых невозможен без АТФ (то же самое и для гликолиза) (Виолован, 2001).

2.12.1. Происхождение биологических мембран.

Коацерватные капли или любые другие микросистемы, в которых зарождается жизнь, должны быть отделены от окружающей среды какой-то защитной оболочкой, иначе они будут попросту размыты средой. Причём эта оболочка должна обеспечить не только защиту, но и транспортировку веществ как внутрь живой системы, так и из неё. В современных клетках все эти функции выполняет белково-липидная мембрана. Клеточная мембрана – это крайне сложное образование, состоящее из двойного фосфолипидного слоя, специальных белков и углеводов, регулирующих обмен веществ с окружающей средой. Одномоментное появление такой системы, конечно, невысказимо, поэтому предполагается, что первые мембраны были устроены гораздо проще. Сначала вокруг микросистемы должен был обра-



Модель клеточной мембраны

зоваться двойной фосфолипидный слой, после чего уже могло происходить его «обогащение» протеинами и углеводами. Однако если бы такое событие произошло, то для любого коацервата это означало бы верную гибель, поскольку липидный слой затрудняет выведение из системы продуктов метаболизма (например, мочевины). Он не может обеспечить и избирательно-го поступления необходимых питательных веществ. Чтобы поддерживать обмен веществ, мембрана должна образоваться сразу, в совершенном виде, причём информация о её строении должна быть закодирована в молекуле ДНК (Виолован, 2001).

2.12.2. Питание и энергообеспечение клеточных систем. Многие биохимические процессы (синтез полимеров, транспорт веществ через мембрану, репликация, трансляция, транскрипция и т. д.) требуют больших затрат энергии. Как известно, универсальным источником энергии в живой клетке является молекула АТФ. При её гидролизе высвобождается энергия, которая может быть использована для осуществления всех энергозависимых биохимических процессов. Предполагается, что первоначально АТФ, как и все остальные органические вещества, могли синтезироваться в первичном бульоне самопроизвольно, и первые живые системы поглощали их в уже готовом виде. Однако очевидно, что долго так продолжаться не могло. Рано или поздно запасы АТФ иссякнут. Следовательно, к этому моменту клетка должна выработать свой собственный механизм синтеза АТФ. Предположим, что так и произошло. На первых порах живая система могла обеспечить себя энергией за счёт расщепления органических веществ, например, глюкозы, используя так называемое субстратное фосфорилирование. Для этого нужно обладать лишь девятью ферментами гликолиза, которые, разумеется, должны быть закодированы в ДНК и синтезированы с использованием того же АТФ. Но выход биотоплива в таком процессе невелик. Вскоре в первичном океане закончатся запасы аминокислот, жиров, углеводов, азотистых оснований... и все эти вещества необходимо «научиться» синтезировать самостоятельно (т. е. нужен переход от полных гетеротрофов к полным автотрофам), а для этого потребуется огромное количество АТФ. Единственный выход – это срочное развитие окислительно-восстановительной ферментной системы и построение мембранного комплекса с ферментами, способными синтезировать АТФ за счёт градиента протонов. 8 →

Этот самый сложный ансамбль взаимосвязанных компонентов в бульоне не плавал. Получить его можно только путём клеточного синтеза. Но как? Ведь клетка синтезировать ещё ничего не может (Виолован, 2001).

АТФ-СИНТАЗА: ДЕТАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ

В современных живых клетках главным ферментом, катализирующим процесс образования АТФ из АДФ и неорганического фосфата (Фн), является H^+ АТФ-синтаза, расположенная в мембранах бактерий, растительных и животных клеток (в хлоропластах и митохондриях). Этот фермент по праву называют самым красивым, необычным и сложным. Необычность АТФ-синтазы состоит в том, что она работает как вращающаяся машина, подобно электромотору, крутящемуся при пропускании электрического тока через его обмотку. Однако в отличие от электромоторов, используемых в технике, ротор АТФ-синтазы приводится во вращение при прохождении через неё электрического тока, создаваемого не движением электронов, а потоком протонов (H^+). АТФ-синтазный комплекс по форме напоминает гриб, ножка которого погружена в мембрану, а круглая шляпка выступает наружу.

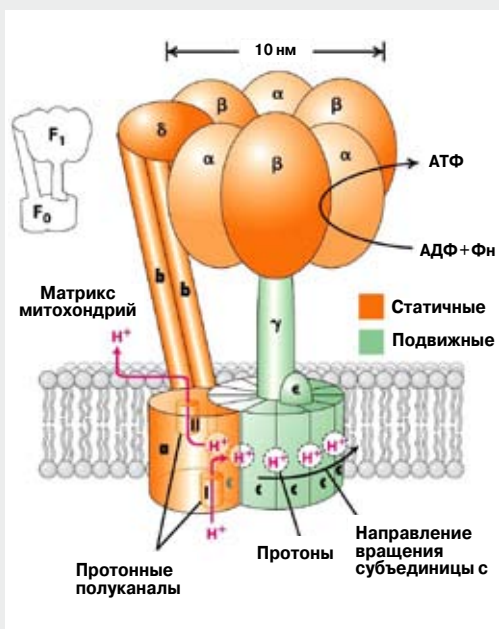
Мембранная часть АТФ-синтазы, называемая фактором сопряжения F_0 , представляет собой гидрофобный (нерастворимый в воде) белковый комплекс. Второй фрагмент АТФ-синтазного комплекса – фактор сопряжения F_1 – выступает из мембраны в водную фазу в виде сферы. Комплекс F_1 состоит из девяти субъединиц пяти типов (3α , 3β , γ , δ и ϵ). Полипептидные цепи субъединиц α и β уложены в похожие по строению белковые глобулы, которые все вместе образуют гексамер – ансамбль, состоящий из шести субъединиц (три одинаковые субъединицы α и три β). Этот ансамбль имеет вид слегка приплюснутого шара высотой 8 нм и шириной 10 нм. Мембранный комплекс F_0 служит основанием, которое удерживает АТФ-синтазу в мембране. В этот комплекс входят одна белковая субъединица типа a , две копии субъединицы b , 12 идентичных копий более мелкой субъединицы c , а также протонный канал, по которому ионы водорода переносятся через АТФ-синтазу. Все субъединицы АТФ-синтазы можно условно разделить на две группы. Одна из них образует статор мотора, который неподвижен относительно мембраны, а другая соответствует подвижному ротору, вращающемуся внутри статора. Статор включает в себя шарообразный гексамер, образованный субъединицами α и β , находящуюся на его поверхности субъединицу δ , а также субъединицы a и b мембранного комплекса F_0 . В этой макромолекулярной конструкции субъединицы b выполняют роль своеобразного кронштейна, связывающего неподвижные субъединицы комплексов F_0 и F_1 . Ротор состоит из субъединиц γ , ϵ и c комплекса F_1 .

Каталитическая активность АТФ-синтазы непосредственно связана с вращением её ротора. Считается, что поворот субъединицы γ вызывает одновременное изменение конформации всех трёх каталитических субъединиц β , что в конечном итоге обеспечивает работу фермента: в результате поворота ансамбля $(\alpha\beta)_3$ вокруг субъединицы γ на 120° в растворе станет меньше на одну молекулу АДФ и одну молекулу Фн, но вместо них появится одна новая молекула АТФ. Производительность этого «мотора» просто потрясающая: одна молекула фермента гидролизует более 100 молекул АТФ в секунду.

Движущей силой для работы АТФ-синтаз является протонный потенциал, создаваемый на мембране в результате работы цепи электронного транспорта. Ре-



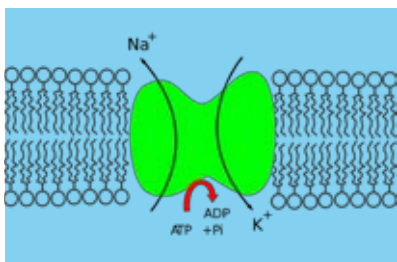
Схема строения АТФ-синтазы и её расположения в мембранах митохондрий. Комплексы F_1 и F_0 всех изученных протонных АТФ-синтаз бактерий, цианобактерий и хлоропластов высших растений имеют одинаковый состав белковых субъединиц $(\alpha\beta)_3\gamma\delta\epsilon$ и abc_{9-12} соответственно. У АТФ-синтазы митохондрий животных мембранный комплекс F_0 наряду субъединицами a , b и c содержит шесть дополнительных белковых субъединиц (d , e , f , g , F_6 и $A6L$), а F_1 дополнительно включает в себя два небольших белка (OSCP и специальный регуляторный белок-ингибитор).



акции фотосинтетического переноса электронов в хлоропластах сопровождаются транспортом протонов внутрь тилакоидов. В митохондриях работа дыхательной цепи сопровождается переносом ионов водорода в противоположном направлении: протоны выходят из матрикса наружу. За счёт разности протонных потенциалов по обе стороны мембраны возникает поток ионов водорода через АТФ-синтазу, который и обеспечивает её работу по синтезу АТФ. АТФ-синтаза – это обратимая молекулярная машина. За счёт энергии, выделяющейся при гидролизе АТФ, она может перекачивать ионы водорода в противоположном направлении, т. е. из области с низким протонным потенциалом в область с высоким потенциалом. Замечательным качеством вращающегося мотора АТФ-синтазы является его исключительно высокий коэффициент полезного действия (КПД).

Установлено, что работа, которую совершает мотор при повороте на 120° , почти в точности равна энергии, запасённой в молекуле АТФ. Это означает, что КПД работы мотора близок к 100%. Объём работы, которую производят АТФ-синтазы, поражает грандиозными масштабами. Общая масса молекул АТФ, синтезируемых в организме взрослого человека в течение суток, сопоставима с массой самого человека (Тихонов, 1999).

Теперь попробуйте представить, как эту сложнейшую молекулярную машину мог создать «счастливый случай».



Солевой баланс клетки обеспечивается сложной ферментной системой, встроенной в клеточную мембрану и работающей за счёт энергии АТФ

2.12.3. Регуляция солевого состава клетки. Как известно, большую часть соли мирового океана составляет хлорид натрия (NaCl). В морской воде солёностью 35 г/л его содержится 27,2 г/л. Однако для работы белок-синтезирующей системы современной клетки необходимо обязательное присутствие ионов K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ и ряда других, но отнюдь не ионов Na^+ . Более того, ионы Na^+ и Li^+ не только не могут заменить ионов K^+ или NH_4^+ , но являются их антагонистами, блокируя работу белоксинтезирующей системы (Спирин, 1971; Наточин, 2010).

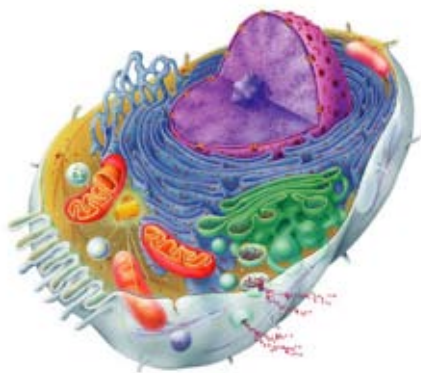
Таким образом, жизнь не могла возникнуть ни в пресных, ни в натриевых водоёмах, а лишь в калиевых, которых нет на современной Земле. В этом случае необходимо констатировать существование на древней земле калиевых океанов, их исчезновение и возникновение натриевых, которые мы имеем сегодня. Однако к этому времени клетка должна обзавестись Na^+/K^+ -АТФазой, которая за счёт энергии АТФ обеспечивала бы поступление в клетку K^+ и удаление из нее Na^+ . Но как она могла появиться в воде, где нет натрия?

2.13 Главнейшая проблема абиогенеза – самоорганизация живых систем

Российский микробиолог, академик РАН Г. Заварзин как-то сказал: «Для меня вопрос о происхождении жизни путём химических реакций лежит за пределами экспериментального познания. Если из бесклеточного экстракта, содержащего все компоненты клетки в надлежащей пропорции, не происходит самосборки, значит, простейший организм представляет собой эмерджентную [внезапно возникающую] систему взаимозависящих частей. Пока не получено самовоспроизведение системы из ДНК, введённой в мембранную везикулу, нельзя говорить о решении проблемы возникновения жизни. Абиогенный синтез компонентов клетки не может дать ответа на этот вопрос, поскольку решает совсем другую задачу» (Заварзин, 2003).

Долгое время сторонники абиогенеза полагали, что если удастся доказать возможность небиологического синтеза составляющих простейшей клетки, то проблему самозарождения жизни можно считать решённой: все клеточные компоненты рано или поздно соединятся и образуют живую клетку. Однако, как мы видим, и здесь учёных постигла неудача: эксперименты по смешиванию биологически активных компонентов клеточных систем ни к какой самоорганизации не привели (Глейзер, 1985). Это и понятно: даже теоретически невозможно представить, как отдельные составные части клетки будут объединяться между собой и формировать живую систему. «Рассуждать о возможности самозарождения живого организма, – пишет И. Рухленко, – это всё равно, как если бы я взял водный раствор с уже находящимися там железными гайками и болтами..., и начал бы эту смесь трясти. И когда через несколько часов у меня бы некоторые гайки накрутились бы на некоторые болты... я на этом основании стал бы утверждать, что самозарождение экскаваторов в грязных лужах, в принципе, возможно. Осталось только прояснить некоторые детали... «Гипотеза абиогенеза» – это такое современное антинаучное позорище, каким было в своё время «успешное самозарождение мышей в грязном белье». Через некоторое время некоторым современным биологам и химикам будет очень стыдно, что они на полном серьёзе занимались алхимическими опытами по самозарождению гомункулуса в грязной колбе... в начале XXI века! То есть тогда, когда уже было отлично известно, насколько сложным нанотехнологическим чудом является любая живая клетка» (Рухленко, 2015).

Живая система настолько уникальна, что мы не можем её сравнить ни с чем, что существует на Земле или придумано человеком: ни с каким компьютером, машиной, станком, или другим техническим устройством. Ведь даже самый сложный механизм можно разобрать до «винтиков», а затем снова собрать, и он будет работать. Но с живой системой подобную операцию проделать невозможно! Как справедливо заметил российский биофизик В. Воейков: «Свести по отдельности любое из жизненных явлений (проявлений) к физико-химическим процессам, по-видимому, можно, а вот вывести из физики и химии не-



Невероятная сложность строения и функционирования живой клетки ставит в тупик все теории её самопроизвольного возникновения

живого их комплекс – целостный, активный и направленный структурированный процесс – нельзя» (Воейков, 1998). Эта трудность хорошо известна математикам как невыводимость, или проблема Гёделя.

Скептическое отношение к возможности доказать самозарождение жизни высказал даже такой оптимист, как академик Виталий Гинзбург (1916–2009): «Мы полагаем, что знаем, из чего устроено всё живое: из электронов, атомов и молекул. Знаем строение атомов и молекул, а также управляющие ими и их излучением законы. Поэтому естественна гипотеза о редукции – возможности всё живое объяснить на основе уже известной физики. Основными остаются вопросы о происхождении жизни и появлении сознания (мышления). Образование в условиях, царивших на Земле несколько миллиардов лет назад, сложных органических молекул уже прослежено, понято и смоделировано. Казалось бы, переход от таких молекул и их комплексов к простейшим организмам, к их воспроизводству можно себе представить. Но здесь имеется какой-то скачок, фазовый переход. Проблема не решена, и я склонен думать – она будет безоговорочно решена только после создания «жизни в пробирке»» (Гинзбург, 2003).

Сегодня мы уже отчётливо понимаем, что жизнь – непостижимое для человека явление. Доскональное изучение физико-химического состава простейшей клетки, увы, нисколько не прояснило её сути. Органические молекулы и химические процессы действительно необходимы для поддержания жизни, но совокупность молекул и протекающих реакций – это не есть сама жизнь. Редукционизм, т. е. вера в то, что сложные вещи можно объяснить через анализ их составляющих, как отметил академик Гинзбург, здесь не проходит.

Осознавая этот парадокс, некоторые учёные, в том числе и сторонники эволюционной модели развития жизни, стали приходить к выводу, что для решения проблемы происхождения жизни необходимо вернуться к гипотезе «жизненной силы», высказанной ещё в древности. «Интуитивно любой исследователь понимает, что органическая материя не может «жить» сама по себе, – говорит российский учёный, профессор Евгений Хлебосолов. – Должно существовать какое-то начало, придающее материи свойство жизни. Помимо сложной структурной организации в живом организме должна существовать некая таинственная «жизненная сила», которая отличает живое от неживого и благодаря которому органическое вещество приобретает свойства, характеризующие его именно как живое вещество» (Хлебосолов, 2004).

Однако наука ещё на заре своего развития отвергла идею «жизненной силы», а потому двигаться по этому направлению, по сути, запрещено. Всё должно объясняться исходя из чистой физики и химии. 9 →

ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ

Сущность жизни? Вот вопрос, без научно обоснованного ответа на который невозможно построение рационального мировоззрения, правильно отражающего объективную действительность.

Александр Опарин



Согласно Библии, человек стал «душою живую» после того, как Бог «вдохнул» в его тело «дыхание жизни» (дух). На рисунке: фрагмент фрески Б. Микеланджело «Сотворение Адама» (Сикстинская капелла, Ватикан)

Когда речь заходит о попытке учёных получить живой организм из составляющих его молекул, невольно возникает вопрос: «А что такое жизнь? Что она собой представляет?». Как это ни парадоксально, но дать ответ на этот вопрос оказалось не такой простой задачей. В настоящее время не существует чёткого определения жизни, хотя за время существования биологии предпринималось немало попыток объяснить это явление.

Первое и, пожалуй, самое знаменитое определение жизни, принадлежит Ф. Энгельсу, который сказал, что «жизнь – это способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой». Популярное в советские времена определение А. Опарина звучит так: «Жизнь – особая форма движения материи, возникающая на определенном этапе исторического развития материи и представленная на нашей планете громадным числом отдельных индивидуальных систем – организмов».

Сходные определения дают и современные словари: «Жизнь – это особая форма существования материи, возникающая на определённом этапе её развития, основным отличием которой от неживой природы является обмен веществ» (Энциклопедический словарь, 2009).

Встречаются и такие определения:

«жизнь – это совокупность функций, противостоящих смерти» (М. Биша);

«жизнь – это высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул» (А. Ляпунов),

«жизнь – это непрерывный, циклический процесс, совершающийся в живой материи и сопровождающийся постоянным перераспределением материи, энергии, информации» и др. (Харченко, 2015).

Однако ни одно из перечисленных определений не раскрывает самого главного – самой сущности жизни. Как в своё время посетовал Н. Бор, жизнь есть «основной постулат биологии, не поддающийся дальнейшему анализу» (Бор, 1961).

Сегодня большинство учёных говорит о принципиальной трудности или невозможности однозначного или полного определения жизни. Так, биологи Д. Тейлор, Н. Грин и У. Стаут в популярном руководстве по биологии пишут: «Итак, мы вынуждены признать, что не можем дать строго определения, что же такое жизнь, и не можем сказать, как и когда она возникла. Всё, что мы можем, – это перечислить и описать те признаки живой материи, которые отличают её от неживой» (Тейлор, 2004).

О проблемах, связанных с трудностью определения говорят и другие авторы:

- «Спрашивать, что такое жизнь, – значит ставить вопрос, на который заведомо нельзя дать удовлетворительного ответа» (Sherrington, 1951).

- «Что такое жизнь? Этот вечный вопрос, столь же старый, сколь и самая склонность человека к философствованию и теоретизированию, оказался центральным вопросом в современной биологии. Но сегодня мы даже не пытаемся дать на него точный ответ. Более того, мы подчас просто сомневаемся, возможен ли такой ответ вообще; быть может, в этом как раз и проявляется наша научная зрелость... не умея дать точного определения жизни, мы, однако, считаем возможным и удобным употреблять этот термин применительно к конкретным объектам и вести речь о «живых» существах» (Гробстайн, 1968).

Размышляя над этим невольно приходишь к мысли о присутствии в живой материи чего-то неуловимого, недоступного для нашего разума, но необходимого, придающего материи свойство живого, того, что мы не можем увидеть, измерить, идентифицировать, но без чего жизнь невозможна. Ещё в древности люди говорили о некой «жизненной силе», которая пронизывает материю и делает её живой. В Библия также говорит о «дыхании жизни» (евр. «ruach») – жизненном начале, которое Бог вдохнул в тело человека, сделав его «душою живою». Это жизненное начало возвращается к Богу, в момент смерти человека, прекращения существования.

Хотя понятие «жизненная сила» было исключено из области научного знания, и отвергнуто почти всеми учёными, тем не менее вопрос о наличии в живом организме какого-то особенного элемента нематериальной природы стал предметом активного обсуждаться в биологии с первой половины XX в. И повод этому дала эмбриология.

Известно, что в генетической программе живых организмов записаны все признаки им черты строения. В каждой клетке хранится программа её будущего месторасположения и функциональной роли. Но возникает вопрос: как генетическая запись с химического языка переводится в реальную объёмную структуру, в тело? Генетической программе в одиночку выполнить это невозможно. Должен существовать некий организационный центра. Ведь в каждой клетке организма заложена одинаковая генетическая программа. Откуда клетка знает, когда ей нужно начать делиться, когда остановиться и какую принять форму и функциональную специализацию. Иногда клетки даже должны отмереть, чтобы получить необходимую пространственную структуру. Например, так образуются пальцы на конечностях зародыша, когда ткани между будущими пальцами гибнут, а из пластинки – зачатка кисти формируется пятипалая рука. «Неведомый скульптор, ваяя живое

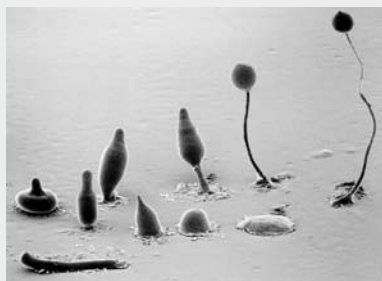
существо, не только перераспределяет, но и удаляет ненужный материал, чтобы воплотить то, что намечено генетической программой», – пишет российский гистолог, профессор Ю. Симаков (Симаков, 1986, 2003).

В результате учёные пришли к выводу, что формирование организма из однородной клеточной массы связано с работой так называемого информационного (морфогенетического) поля. Наиболее разработанные концепции информационного поля принадлежат австрийцу П. Вейсу и двум советским учёным А. Гурвичу и Н. Кольцову. Гурвич назвал его биологическим полем.

Смысл этой концепции сводится к тому, что вокруг эмбриона (зародыша) присутствует особое информационное поле, которое управляет работой клеток и как бы лепит из клеточной массы ткани, органы и целый организм. Оно служит той матрицей или формой, которую зародыш стремится заполнить. Но что собой представляет это поле? К сожалению природа биологического поля до сих пор неизвестна и за последнее время в его понимании мы не продвинулись ни на шаг. Биологическое поле отличается по своей природе от физических и химических полей. Оно не может быть общими и одинаково организованными, как это мы находим в неживой природе. Биологическое поле индивидуально для каждого организма.

Хотя природу информационного поля мы понять не можем, но увидеть его проявления и определить некоторые свойства вполне возможно. Для этого рассмотрим некоторые опыты на живых объектах.

У слизистого грибка миксомицета *Dictyostelium* отмечен интересный жизненный цикл. Сначала его клетки как бы рассыпаны и передвигаются в виде «амеб» по почве, затем одна или несколько клеток выделяют вещество акразин, что служит сигналом «все ко мне». «Амебы» сползаются и образуют многоклеточный плазмодий, который выглядит червеобразным слизнем. Этот слизень выползает на сухое место и превращается в маленький тонконогий грибок с круглой головкой, где находятся споры. Прямо на глазах из клеток собирается причудливый организм. Учёные решили выяснить, что получится, если наполовину сократить количество сливающихся клеток – половина грибка или целый? Оказалось, что из половины «амеб» получается той же формы грибок, только вдвое меньше. Оставили 1/4 клеток, они опять слились и дали грибок со всеми присущими ему формами, только ещё меньших размеров. Получается, что каждая часть клеток несёт информацию о форме, которую им надо сложить, собравшись вместе. Правда, где-то есть предел, и малого количества клеток может не хватить для построения миксомицета. Однако на основании имеющихся данных, можно заключить, что форма грибка заложена в информационном поле ещё тогда, когда организм рассыпан на отдельные клетки. Можно сказать, что в пространстве, вне первоначального скопления



Жизненный цикл слизистого гриба Dictyostelium discoideum



Некоторые живые организмы, например плоские черви, способны полностью восстанавливать своё тело из небольшого фрагмента

клеток существует «идея формы» – биологическое поле, определяющее направление в пространстве, темп и последовательность деления клеток, заполняющих эту форму.

Другие опыты. Если плоского червя – планарию (*Dendrocoelum lacteum*) – разрезать на множество частей (до 300) и оставить в покое на несколько недель, то клетки этих кусочков поменяют свою специализацию и перестроятся в целый организм. То же самое происходит при регенерации целого органа у некоторых позвоночных животных. Если у тритона отрезать лапу, через некоторое время на её месте вырастет новая. Из бес-

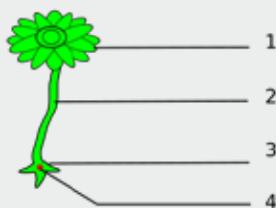
форменного скопления клеток на месте отрезанной лапы образуется пятипалая конечность с кровеносными сосудами, костным скелетом, нервами, мышцами. Опять-таки делящиеся клетки заполняют существующую в пространстве форму, как заполняет рука перчатку.

Эти опыты показывают, что каждый кусочек тела каждая клетка постоянно принимает сигналы, идущие от информационного поля. Всё, что ни происходит с организмом в какой-то его части, мгновенно становится известным остальным клеткам или во всяком случае тем клеткам, которые участвуют в восстановлении организма. В данных случаях эти клетки получили сигнал о нарушении целостности организма и как следствие стали восстанавливать целостность организма или формировать целый организм (Симаков, 1986, 2003).

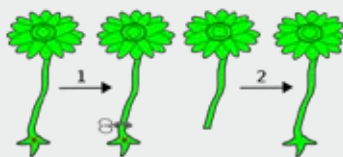
Весьма интересен опыт, который показывает, что информационное поле не теряет способность руководить восстановлением пространственной структуры даже если лишить клетку ядра. Ацетабулярия (*Acetabularia*) – это одноклеточная водоросль с гигантским размером клетки – два сантиметра, а иногда и больше. Внешним видом ацетабулярия напоминает маленький грибок. На тонкой ножке сидит зонтик, а внизу, как корешки, расходятся так называемые ризоиды, служащие для прикрепления к субстрату. Ядро ацетабулярии находится в одном из ризоидов. Стоит микроскальпелем отрезать ризоид с ядром, и ацетабулярия уже становится безъядерной клеткой. Умрет ли она после этого? Оказывается, нет. Живет, да ещё способна к регенерации. Отрежем у нее зонтик, он восстановится. Но только один раз. А у клетки с ядром сколько бы мы ни отрезали зонтик, он всегда будет восстанавливаться. О чём это говорит? О том, что информационное поле без участия ядра способно полностью восстановить утраченную форму клетки, используя впрок синтезированные вещества, необходимые для регенерации. Этих веществ не так много, хватает только на одну регенерацию, но возможно, при наличии достаточного запаса этих веществ безъядерная клетка могла бы восстанавливаться многократно. Как это происходит и посредством чего осуществляется управление восстановлением остаётся неизвестным.



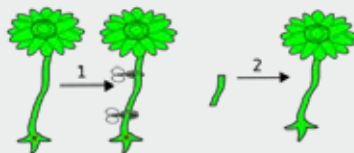
Ацетабулярия



Строение ацетабулярии: 1 – зонтик (шапочка), 2 – стебелёк, 3 – ризид (ножка), 4 – клеточное ядро



Если у ацетабулярии ампутировать ризид с единственным ядром клетки, то образуется новый ризид, но без ядра. Клетка может жить несколько месяцев, однако уже не способна к размножению.



Если удалить ризид и зонтик, оставив центральную часть стебля, то происходит их восстановление без ядра.

Концепция информационного поля, несмотря на то, что его природа остаётся загадочной, имеет большое значение в биологии. Благодаря ей основное положение экспериментальной эмбриологии (доказанное бесконечное число раз), согласно которому судьба клетки в эмбриональном процессе определяется её местоположением, получает своё конкретное объяснение.

Как мы видим, для работы биомолекул в качестве живой системы необходим аппарат управления и координации, и он несомненно присутствует в жизнедеятельности любой живой клетки. Все клетки обладают способностью собирать и анализировать информацию о своём внутреннем состоянии и внешней среде, и на основании этого принимать решение о росте, движении и дифференциации. Особенно показательны механизмы контроля клеточного деления. Процесс митоза универсален у высших организмов и включает три последовательных этапа: G1 (подготовка к делению), S-фаза, репликация хромосом и G2, завершение деления клетки. Анализ генного контроля этих фаз привёл к открытию особых контрольных точек (check points), в которых клетка проверяет, произошла ли репарация нарушений в структуре ДНК на предыдущем этапе или нет. До тех пор, пока не будут исправлены все неточности или неисправности одного этапа, последующий этап не запускается. Если же ошибки не удалось исправить, то делается другой выбор: запускается генетически запрограммированная система клеточной смерти, или

апоптоза (Murray, 1993) (см. п. 2.8.3). Клетка действует целенаправленно, подобно компьютеру, когда при его запуске шаг за шагом проверяется нормальная работа основных программ, и в случае неисправности работа компьютера останавливается. И опять-таки, совершенно непонятно что координирует этот процесс, что им управляет. Очевидно лишь то, что без этого существование живой системы невозможно.

Из здесь перед нами встаёт главный вопрос: как соотнести эти открытия с теорией абиогенеза? Каким образом белки, жиры, углеводы... первичного океана, соединившись в одну систему, смогли «обзавестись» морфогенетическим полем, способностью получать и анализировать информацию о внешней и внутренней среде и исходя из этого принимать те или иные решения о своём росте, развитии, размножении и даже гибели? Мы даже знаем об этом очень мало.

Ещё чуть более 100 лет назад немецкий зоолог Э. Геккель утверждал, что клетка – «это простой комочек альбуминовой комбинации углерода». А однажды на собрании Немецкого общества естествоиспытателей он восклицал: «Когда вы, химики, сделаете правильный белок, то он закопошится!». Конечно, если подходить к рассмотрению жизни с этой позиции, то легко верить, что для её образования достаточно «большой грязной лужи» и удара молнии. Но нашему поколению открылась такая сложность живой системы, что подобные взгляды, наверное, следует расценивать как неуместную шутку. «В стремлении познать основы основ живого, – писал русский учёный, палеоботаник С. Мейен, – мы часто уповаем на сверхвременные микроскопы, тончайшие биохимические методы, электронные вычислительные машины. Кажется, ещё немного вглубь, поближе к молекулам, и всё станет ясно. Но только ли этот путь возможен? И все ли загадки жизни мы решим таким путём? Великий Гёте как будто предвидел подобные вопросы:

...Живой предмет желая изучить.

Чтоб ясное о нём познание получить,

Учёный прежде души изгоняет,

Затем предмет на части расчленяет.

И видит их, да жаль: духовная их связь

Тем временем исчезла, унеслась!» (Мейен, 2001).

ВОЗМОЖНА ЛИ САМООРГАНИЗАЦИЯ БИОСИСТЕМЫ ПРИ НАЛИЧИИ ВСЕХ НЕОБХОДИМЫХ КОМПОНЕНТОВ?

НЕВЕРНО: Да. При наличии всех составляющих клетки происходит самоорганизация и превращение в живой организм.

ВЕРНО: Нет. Как бы мы ни смешивали биомолекулы или даже готовые клеточные компоненты, никакой самоорганизации не происходит.

2.14 Фактор времени

Наука, всегда упрекавшая богословие в том, что оно уповает на мифы и чудеса, теперь сама вынуждена творить мифологию, а именно: после бесплодных попыток доказать, что нечто может произойти в наши дни, она пытается убедить нас, что это наверняка произошло в далёкой древности.

Л. Айсли

Разумеется, возвращение к теории «жизненной силы» для материалистической науки неприемлемо, а потому некоторые учёные пытаются решить проблему самоорганизации при помощи одного простого фактора – фактора времени. Если жизнь зарождалась долго, то за этот период могло произойти всё что угодно! Так, американский биохимик, лауреат Нобелевской премии, профессор Дж. Уолд пишет: «Важно то, что если возникновение жизни принадлежит к категории явлений, которые происходят минимум однажды – то время на его стороне. Каким бы невероятным мы ни считали само это событие или любой его этап, на протяжении достаточного периода времени оно могло произойти хотя бы один раз. А для жизни, какой мы её знаем, с её способностью к росту и воспроизведению, – одного раза достаточно. Время – вот истинный герой этого сценария. Время, с которым мы имеем дело, порядка двух миллиардов лет. То, что считается невозможным на основе человеческого опыта, в данном случае теряет смысл. При столь огромных сроках невозможное становится возможным, возможное – вероятным, а вероятное – почти несомненным. Нужно только набраться терпения: время само совершит чудеса» (Wald, 1954).

Действительно, абиогенез всегда рассматривали как чрезвычайно длительный процесс, этим-то он и отличается от древней теории быстрого самозарождения. Выдающийся английский физик и натуралист Дж. Бернал считал, что химическая эволюция длилась не менее 2 млрд лет, академик Л. Берг называл цифру в 3–4 млрд лет, Л. Зенкевич полагал, что развитие органического мира должно было продолжаться не менее 10 млрд лет. Однако все эти цифры оказались нереалистичными. Возраст нашей планеты



Учёные считают, что Земля вначале была раскалённой планетой и остыть до приемлемой для жизни температуры могла не раньше 4 млрд лет назад. Но в это время, по их же представлениям, на Земле уже существовала жизнь

оценивается в 4,5–4,6 млрд лет, а самые древние на Земле осадочные породы, уже содержат следы живых организмов. Возраст этих пород оценивается в 4,0–4,1 млрд лет (Bell, 2015; Dodd, 2017). Следовательно, на эволюцию первой клетки остаётся около 500 млн лет – период слишком короткий для такого процесса (Войткевич, 1988).

Но, если исходить из эволюционной теории образования Земли, то, по всей видимости, и этого времени не было, ведь первоначально Земля была раскалённой планетой, а остыть до приемлемой температуры (ниже 100°C), по самым оптимистичным подсчётам, она могла не менее чем за 500–600 млн лет! Только тогда и могли образоваться крупные водоёмы, знаменитый органический бульон, а за ним – первые осадочные породы. Из этого следует, что жизнь на Земле появилась сразу же, как только возникли подходящие для неё условия. На данный факт в своё время указывал академик В. Вернадский: «В результате трёхвековой истории геологии можно утверждать, что нигде на нашей планете не встречены отложения, в которых жизнь отсутствовала бы, и нет никаких, даже косвенных данных, чтобы мы могли научно допустить её отсутствие в данных геологических явлениях». Следовательно, заключал он, если мы будем твёрдо стоять на почве эмпирических обобщений, то нам придётся признать, что жизнь существовала на Земле всегда – биосфера геологически вечна. До настоящего времени это знаменитое положение Вернадского никто не опроверг (Еськов, 2014), а потому фактор времени пока работает против эволюции.

2.15 Второй закон термодинамики

И, наконец, самый весомый аргумент против абиогенного происхождения жизни – это его полное противоречие Второму закону термодинамики, который гласит, что в изолированных системах всякий самопроизвольно протекающий процесс сопровождается возрастанием энтропии – меры неупорядоченности системы (Киреев, 1978). Российский учёный, академик В. Струминский считает, что именно этот закон лишает абиогенез статуса научной теории. В частности, он пишет: «Живая материя и жизнь не могли появиться в процессе движения и преобразования мёртвой материи, а ряд гипотез, высказанных человечеством о возникновении жизни, несостоятельны. Уже в конце прошлого века стало ясно, что живая материя намного сложнее мёртвой, стремящейся к хаосу. Поэтому при появлении в мёртвой молекулярной среде более сложных структурных образований они незамедлительно будут уничтожены тем же хаотическим движением мёртвой материи. Этим объясняется несостоятельность основных гипотез, высказанных человечеством. Материалисты считали, что жизнь появилась

на остывающей Земле в процессе движения и преобразования мёртвой материи. Уже в конце прошлого века стало ясно, что молекулярное строение живой материи коренным образом отличается от строения мёртвой. По словам коллег, материалист Ч. Дарвин, детально рассмотрев в последние годы жизни строение элементов живого организма, заявил, что его прошибает холодный пот: такое не может образоваться само собой, у них должен быть Всевышний Творец. В те времена человечество ещё не знало, что сама мёртвая материя стремится к хаосу и не может породить ничего сложнее себя» (Струминский, 1995).

Тем не менее существует мнение, что Второй закон термодинамики не накладывает запрет на абиогенное происхождение жизни, т. к. сформулирован для изолированных систем, тогда как наша планета – открытая система (с притоком энергии от Солнца). Но это мнение ошибочно. Математически Второй закон термодинамики выражается следующей формулой (Кикоин, 2007):

$$S_2 - S_1 > \int_1^2 dQ/T,$$

где S_2 и S_1 – это энтропия (величина, характеризующая степень хаотичности системы), соответственно, конечного и начального состояния системы, dQ – приток тепла в систему, T – её температура.

Из данной формулы видно, что в случае, когда система изолирована от источников тепла ($dQ=0$), её энтропия возрастает ($S_2 - S_1 > 0$). Но если система открыта и получает тепло ($dQ > 0$), то разница между S_2 и S_1 будет ещё больше! Другими словами, в открытых системах энтропия увеличивается с гораздо большей скоростью, чем в изолированных. В этом-то и заключается вся суть закона. Если данный закон формулировать для открытых систем, то он будет звучать так: если систему разрушать, то она разрушится. Но в том то и дело, что система разрушится, даже если её не разрушать, а наоборот, изолировать, оберегать от всякого воздействия. Таким образом, открытость системы усугубляет действие II-го закона термодинамики, а не отменяет его.

ПРОТИВОРЕЧИТ ЛИ ГИПОТЕЗА АБИОГЕНЕЗА II-у ЗАКОНУ ТЕРМОДИНАМИКИ?

НЕВЕРНО: Не противоречит. Второй закон термодинамики сформулирован для изолированных систем, а наша Земля – открытая система с притоком энергии (и вещества) извне.

ВЕРНО: Противоречит. Если система открыта, то её энтропия будет возрастать с гораздо большей скоростью, чем в изолированной системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разумнее было бы поверить в самопроизвольное зарождение, ибо иначе нам остаётся поверить в изначальный акт Божественного творения. Третьего выхода нет. Поэтому многие учёные в прошлом столетии рассматривали теорию самопроизвольного зарождения как «философскую необходимость». Большинство современных биологов, отмечая с удовлетворением падение гипотезы о самопроизвольном зарождении, не хотят признать вторую гипотезу – о сотворении жизни – и остаются ни с тем.

Биохимик, лауреат Нобелевской премии Дж. Уолд

Век научного прогресса, в который мы живём, отличается строгим разграничением научного и ненаучного знания. К современным научным теориям методологи предъявляют довольно строгие требования. Теория абиогенеза, не имеющая ни практического подтверждения, ни надёжной теоретической базы не может им соответствовать. Как справедливо отмечает российский учёный И. Рухленко, «положение в этой области настолько печально для дарвинизма, насколько это вообще возможно. А именно, результат 60-летней эпопеи с попытками самозародить жизнь в грязной луже – строго нулевой. Причём результат нулевой не только в целом (собственно, жизнь так никто и не самозародил), но даже попытки демонстрации хотя бы одного конкретного этапа самозарождения жизни тоже получились отрицательными во всех случаях» (Рухленко, 2015).

Все вспомогательные гипотезы, выдвинутые для решения проблем теории, в свете современных знаний не выдерживают никакой критики и показали свою полную несостоятельность. Поэтому сторонникам самозарождения жизни ничего не остаётся, как просто верить. Именно вера, будь то в новые «обнадёживающие результаты» экспериментирования, будь то счастливую случайность или какие-то неизвестные обстоятельства, или условия, при которых могла зародиться жизнь, становится главным аргументом в пользу абиогенного начала жизни. «Достаточно просто поразмыслить о масштабах этой задачи [происхождения жизни], – пишет Дж. Уолд, – чтобы уступить, согласившись, что самопроизвольное зарождение живого организма невозможно. Однако, вот они мы, – в результате чего я верю в самопроизвольное зарождение» (Wald, 1954). «Эволюция требует веры, – утверждает американский учёный Р. Уайзон, – да ещё сколько: веры в случайное формирование L-белков, которое совершенно невозможно; веры в спонтанное образование кодов ДНК; веры в первобытную окружающую



Более 30 лет экспериментирования в области химической и молекулярной эволюции, связанного с происхождением жизни, привели скорее к лучшему пониманию масштабов проблемы возникновения жизни на Земле, чем к её разрешению. В настоящее время все дискуссии о важнейших теориях и опытах в этой области заканчиваются либо застоем, либо признанием в невежестве.

Биохимик, профессор К. Доз

щую среду, которая в реальности истребила бы любые химические предпосылки жизни; веры в эксперименты, которые на деле доказывают лишь то, что без разума не было бы начал; веры в первичный океан, который не только не сгустил бы, а, напротив, безнадежно разжижал химические вещества; веры в законы природы, включая законы термодинамики и биогенеза, которые в действительности отрицают вероятность самопроизвольного зарождения жизни; веры в будущие научные открытия, которые лишь порождают новые и новые дилеммы...» (Wysong, 1976).

Апеллирование к вере лишний раз доказывает, что уже пришло время отказаться от заведомо несостоятельной теории и обратить свои взоры к альтернативным точкам зрения. Профессор Е. Кунин в своей книге «Ло-

гика случая» приходит именно к такому выводу: «Если судить только по простым критериям достижения конечной цели или даже приближения к ней, исследование происхождения жизни, можно сказать, терпит фиаско – мы всё ещё не имеем даже правдоподобной и непротиворечивой модели, не говоря уже об обоснованном сценарии возникновения жизни на Земле. Конечно, это связано не с отсутствием экспериментальных и теоретических усилий, а с чрезвычайной имманентной трудностью и сложностью проблемы. Для возникновения жизни необходима последовательность чрезвычайно маловероятных событий, от синтеза и накопления нуклеотидов до появления трансляции; при перемножении их вероятностей окончательный результат кажется почти что чудом... Учитывая все эти принципиальные трудности, кажется разумным серьезно рассматривать радикально альтернативные гипотезы возникновения жизни» (Кунин, 2014).

Хотя альтернативных теорий, отличающихся своей правдоподобностью, предложено не так много, тем не менее выбор есть. Анализируя выступления и публикации известных учёных, не сложно заметить, что большинство из них высказывает своё предпочтение, пожалуй, только одной. Той самой, которую уже давно профессор Кембриджского университета Ф. Хойл и его коллега астроном и математик Ч. Викрамасингх предлагали в качестве выхода из знаменитого «парадокса миллиона обезьян» (см. выше) – теории целенаправленного творения. Именно она в последнее время становится объектом пристального внимания, поскольку наиболее очевидна и логично вытекает из имеющихся данных. «Если живая материя – не результат взаимной игры атомов, естественных сил и излучения, то как она возникла? – спрашивает английский физик из Манчестерского университета, профессор Х. Липсон. – Думаю, мы должны сделать следующий шаг и признать, что единственное приемлемое объяснение – это творение. Я знаю, что это звучит отвратительно для физика и в том числе для меня самого, однако мы не должны отвергать теорию, которая нам не нравится, если эта теория подкреплена экспериментальными доказательствами» (Lipson, 1980).

«Мир во всех его частях и взаимосвязях слишком сложен, чтобы появиться благодаря одной лишь случайности. Для этого, по моему убеждению, слишком уж правильно устроена жизнь во всей своей упорядоченности во всех организмах. Функционирование каждой части живого организма зависит от всех остальных частей. Как об этом узнаёт каждая из частей? Каким образом она приспосабливается к общему замыслу? Чем обширнее наши познания в биохимии, тем невероятнее всё это выглядит, если только не допускать существования некоего организующего принципа, который верующие называют Творцом, а материалисты-редукционисты – загадкой,

которую наука раскроет (вплоть до всех "почему") когда-нибудь в будущем», – сказал американский учёный А. Сэндидж (Sandage, 1985).

«Проблема жизненного начала остаётся и требует своего решения, – пишет профессор Е. Хлебосолов. – В пользу того, что жизнь возникает не случайно в результате простого усложнения материи, а под влиянием определённой организующей силы свидетельствует высокая степень упорядоченности и организованности живых организмов. В последние десятилетия была вскрыта чрезвычайная структурная и функциональная сложность "живого" вещества и законов, управляющих его развитием. Высочайшая степень упорядоченности и саморегулирования жизни, по-видимому, не могла возникнуть из-за случайных стечений обстоятельств» (Хлебосолов, 2004).

«У учёных нет доказательств, что жизнь – это не результат акта творения... Они спрашивают себя: "Как жизнь возникла из неживой материи? И какова вероятность того, что это произошло?" И, к своему огорчению, не находят ясного ответа», – пишет Р. Джастроу (Jastrow, 1981).

Российский учёный-географ, доктор А. Арманд указывает, что на сегодняшний день в вопросах мироздания так или иначе приходится опираться на веру: либо веру в Чудо, либо веру в Высший Разум: «Всеми средствами изгоняя из нашего сознания идею Высшего Разума, мы незаметно пришли к вере в Чудо. Чем, если не чудом можно назвать осуществление события, вероятность которого бесконечно близка к нулю? Это событие – наше появление во Вселенной... Одна вера заменяет другую. Какую из них выбрать – дело вкуса» (Арманд, 2001).

Если во Вселенной существует разум (и все мы являемся тому свидетелями), то вполне очевидно, что жизнь может быть творением этого разума. Однако в современной науке такая возможность почему-то не рассматривается. Впрочем, чтобы принять любую альтернативную гипотезу, нужно, прежде всего, отказаться от старой, заведомо ложной. Но как показывает практика, в силу психологических причин, сделать это довольно сложно, и не только учёным...

Список использованных источников

- Attwater J., Wochner A., Holliger P. In-ice evolution of RNA polymerase ribozyme activity // *Nature chemistry*. 2013. V. 5. P. 1011–1018.
- Beaudry A. A., Joyce G. F. Directed evolution of an RNA enzyme // *Science*. 1992. Vol. 257. P. 635–641.
- Bell E.A., Boehnke P. et al. Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2015. Vol. 112. Issue 47. P. 14518–1452.
- Benner S., Carrigan M. et al. Setting the stage: The history, chemistry, and geobiology behind RNA // Gesteland R., Cech T. et al. *The RNA World*. New York: Cold Spring Lab. Press. 2006. P. 1–21.
- Bernhardt H. The RNA world hypothesis: the worst theory of the early evolution of life (except for all the others) // *Biology Direct*. 2012. Vol. 7 (23).
- Crick F. H. The Origin of the Genetic Code // *Journal of Molecular Biology*. 1968. Vol. 38. P. 367–379.
- Dodd M.S., Papineau D. et al. Evidence for early life in Earth's oldest hydrothermal vent precipitates // *Nature*. 2017. Vol. 543, Issue 7643. P. 60–64.
- Dose K. The origin of life: More questions than answers // *Interdisciplinary Science Reviews*. 1988. Vol. 13. № 4. P. 348.
- Duve C. The beginning of life on earth // *American Scientist*. 1995. Vol. 83. P. 428–437.
- Easley L. *The Immense Journey*. New York: Time. 1962. P. 144.
- Eschenmoser A. Chemical etiology of nucleic acid structure // *Science*. 1999. Vol. 284. P. 2118–2124.
- Ferris J. P., Joshi P. C., Edelson E. H. HCN: a plausible source of purines, pyrimidines and amino acids on the primitive Earth // *Journal of Molecular Evolution*. 1978. № 11. P. 293–311.
- Freeland S. J., Knight R. D., Landweber L. F., Hurst L. D. Early fixation of an optimal genetic code // *Molecular Biology and Evolution*. 2000. Vol. 17 (4). P. 511–518.
- Freeland, S., Hurst L. The Genetic Code Is One in a Million // *Journal of Molecular Evolution*. 1998. Vol. 47. P. 238–248.
- Haig D., Hurst L. A quantitative measure of error minimization in the genetic code // *Journal of Molecular Evolution*. 1991. Vol. 33 (5). P. 412–417.
- Hoyle F. *Evolution from space (the Omni lecture) and other papers on the origin of life*. Hillside, New Jersey: Enslow Publishers. 1982. P. 27–28.
- Hoyle F. Hoyle on Evolution // *Nature*. 1981(a). Vol. 294. P. 105.
- Hoyle F. The big bang in astronomy // *New Scientist*. 1981(6). Vol. 92. № 1280. P. 526–527.
- Hoyle F., Wickramasinghe Ch. *Evolution from Space*. London: Dent. 1981 (b). 208 p.
- Hull D. E. Thermodynamics and kinetics of spontaneous generation // *Nature*. 1960. Vol. 186. P. 693–694.
- Jastrow R. *The Enchanted Loom: Mind In the Universe*. New York: Simon and Schuster. 1981. P. 19.
- Joyce G. F., Inoue T., Orgel L. E. Non-enzymatic template-directed synthesis on RNA random copolymers. Poly(C, U) templates // *Journal of Molecular Biology*. 1984. Vol. 176

(2). P. 279–306.

- Joyce G. F., Orgel L. E. Prospects for understanding the origin of the RNA World // Gesteland R., Cech T. et al. The RNA World. New York: Cold Spring Lab. Press. 1993. P. 1–25.
- Joyce G., Orgel L. Progress toward understanding the origin of RNA World // Gesteland R., Cech T. et al. The RNA World. New York: Cold Spring Lab. Press. 2006. P. 23–56.
- Larralde R., Robertson M., Miller S. Rates of decomposition of ribose and other sugars: Implications for chemical evolution // Proceeding National Academy of Sciences USA. 1995. Vol. 92. № 18. P. 8158–8160.
- Leu K., Obermayer B. et al. The prebiotic evolutionary advantage of transferring genetic information from RNA to DNA // Nucleic Acids Research. 2011. Vol. 39 (18). P. 8135–8147.
- Levy M., Miller S. The stability of the RNA bases: Implications for the origin of life // Proceeding National Academy of Sciences USA. 1998. Vol. 95. № 14. P. 7933–7938.
- Lindahl T. Instability and decay of the primary structure of DNA // Nature. 1993. Vol. 362. Issue 6422. P. 709–715.
- Lipson H. J. A physicist looks at evolution // Physics Bulletin. 1980. Vol. 31. P. 138.
- Meyer S. Signature in the Cell: DNA and the Evidence for Intelligent Design. New York: Harper Collins. 2010. 611 p.
- Mills G., Lancaster M., Bradley W. Origin of life & evolution in biology textbooks – a critique // The American Biology Teacher. 1993. Vol. 55. № 2. P. 78–83.
- Miranda I., Silva R., Santos M. Evolution of the genetic code in yeasts // Yeast. 2006. Vol. 23. Issue 3. P. 203–213.
- Modrek B., Lee C. A Genomic View of Alternative Splicing // Nature Genetics. 2002. Vol. 30. P. 13–19.
- Morowitz H. J. Energy flow in biology: biological organization as a problem in thermal physics. New York & London: Academic Press. 1968. P. 67.
- Murray A., Hunt T. The cell cycle: an introduction. New York: W. H. Freeman, distributed by Oxford University Press. 1993. 251 p.
- Orgel L. Prebiotic chemistry and the origin of the RNA world // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. 2004. V. 39. № 2. P. 99–123.
- Orgel L. Self-organizing biochemical cycles // Proceeding National Academy of Sciences USA. 2000. Vol. 97. № 23. P. 12503–12507.
- Orgel L. The Origin of Life on the Earth // Scientific American. October 1994. Vol. 271. P. 77–83.
- Powner M., Gerland B., Sutherland J. Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions // Nature. 2009. Vol. 459. P. 239–242.
- Sandage A. A Scientist Reflects on Religious Belief // An Interdisciplinary Journal of Christian Thought. 1985. Vol. 1.
- Schwartz A. W. Evaluating the plausibility of prebiotic multistage syntheses // Astrobiology. 2013. V. 13. № 8. P. 784–789.
- Schwartz A. W., de Graaf R. M. The prebiotic synthesis of carbohydrates: a reassessment // Journal of Molecular Evolution. 1993. Vol. 36. P. 101–106.
- Shapiro R. Prebiotic cytosine synthesis: A critical analysis and implications for the origin of life // Proceeding National Academy of Sciences USA. 1999. Vol. 96. № 8. P. 4396–4401.
- Shapiro R. Prebiotic ribose synthesis: A critical analysis // Origins of Life and Evolution of

- the Biosphere. 1988. Vol. 18. P. 71–85.
- Shapiro R. The improbability of prebiotic nucleic acid synthesis // *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. 1984. Vol. 14. P. 565–570.
 - Shapiro R. The prebiotic role of adenine: a critical analysis // *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. 1995. Vol. 25. P. 83–98.
 - Sherrington C. *Man on his nature*. London: Cambridge Univ. Press. 1951. 307 p.
 - Spirin A. S. When, Where, and in What Environment Could the RNA World Appear and Evolve? // *Paleontological Journal*. 2007. Vol. 41. № 5. P. 481–488.
 - Sutherland J. D. Ribonucleotides // *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2010. Vol. 2.
 - Szathmari E. The evolution of replicators // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 2000. Vol. 335. P. 1669–1676.
 - Szostak J. W. The eightfold path to non-enzymatic RNA replication // *Journal of Systems Chemistry* 2012. Vol.3. P. 2–15.
 - Wald G. The origin of life // *Scientific American*. 1954. Vol. 191. № 2. P. 44–53.
 - Woese C. *The Genetic Code*. New York: Harper & Row. 1967.
 - Wright M. C., Joyce G. F. Continuous in vitro evolution of catalytic function // *Science*. 1997. Vol. 276. P. 614–617.
 - Wysong R. *The Creation–Evolution Controversy: Implications, Methodology and Surveys of Evidence*. Michigan: Inquiry Press. 1976. P. 139. (455 p.).
 - Аветисов В. А., Гольданский В. И. Физические аспекты нарушения зеркальной симметрии биоорганического мира // *Успехи физических наук*. 1996. Т. 166. № 8. С. 573–591.
 - Акифьев А. П., Дегтярёв С. В. Антропный принцип в биологии и радиобиологии // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 1999. Т. 39. № 1. С. 5–9.
 - Арманд А. Д. Эксперимент «Гея». Проблема живой Земли. М.: Сирин Садхана. 2001. 192 с.
 - Аст Г. Альтернативный геном // *В мире науки*. 2005. № 7. С. 37–43.
 - Бор Н. *Атомная физика и человеческое познание*. М.: Иностран. лит-ра. 1961. 151 с.
 - Брежневский П. Д. «Мир РНК» – сверхмаловероятный сценарий происхождения и начальной эволюции жизни на Земле // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2015. Т. 51. № 1. С. 64–74.
 - Василий Великий. *Беседы на шестоднев*. М.: Отчий дом. 2010. 194 с.
 - Вельков В. В. Имеет ли смысл прогрессивная эволюция? // *Химия и жизнь*. 2005. № 3. С. 28–33.
 - Виолован К., Лисовский А. Проблемы абиогенеза как ключ к пониманию несостоятельности эволюционной гипотезы // *Феномен співіснування двох парадигм: креаціонізму та еволюційного вчення*. К.: Міжн. Солом. ун-т. 2001. С. 111–132.
 - Воейков В. Л. Научные основы новой биологической парадигмы // К. Г. Короткова (ред.). *От эффекта Кирлиан к биоэлектрографии*. СПб.: Изд-во «Ольга». 1998. С. 282–308.
 - Войткевич Г. В. *Возникновение и развитие жизни на земле*. М.: Наука. 1988. 144 с.
 - Галимов Э. М. *Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции*. М.: Едиториал УРСС. 2006. 256 с.
 - Гиббс У. «Теневая» часть генома: сокровище на свалке // *В мире науки*. 2004. № 2. С. 21–27.

- Гинзбург В. Л. О науке, о себе и о других. М.: Изд-во «Физматлитература». 2003. 544 с.
- Глейзер С., Серебровская К. Курица или яйцо? / Материалы конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения А. И. Опарина // Знание – сила. 1985. № 4. С. 36–39.
- Григорович С. Вначале была РНК. В поисках молекулы первожизни // Наука и жизнь. 2004. № 2. С. 44–55.
- Грэхэм Л. Р. Проблемы происхождения жизни // Грэхэм Л. Р. Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. М.: Политиздат. 1991. С. 70–102.
- Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. М.: Изд-во МГУ. 2004. 448 с.
- Дубнищева Т. Я. Концепции современного естествознания. М.: Академия. 2003. 608 с.
- Еськов К. Ю. Удивительная палеонтология. М.: НЦ ЭНАС. 2014. 312 с.
- Жимулев И. Ф. Современные представления о структуре гена у эукариот // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 7. С. 17–24.
- Заварзин Г. А. Эволюция геосферно-биосферной системы // Природа. 2003. № 1. С. 27–35.
- Инге-Вечтомов С. Г. Трансляция как способ существования живых систем, или в чем смысл «бессмысленных» кодонов // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 12. С. 2–10.
- Кеньон Д., Стейнман Г. Биохимическое предопределение / Под ред. и с предисл. акад. А. И. Опарина. М.: Мир. 1972. 336 с.
- Кикоин И. К., Кикоин А. К. Молекулярная физика. СПб.: Лань, 2007. 408 с.
- Киреев В. А. Краткий курс физической химии. М.: Химия. 1978. 624 с.
- Климов В. В. Растения и биосфера // Современное естествознание: Энциклопедия в 10 т. / Т. 2: Ю. П. Алтухов (ред.). Общая биология. М.: Магистр-Пресс. 2000. С. 322–325.
- Кнорре Д. Г. Биохимия нуклеиновых кислот // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 3. С. 11–16.
- Кордюм В. А. Эволюция и биосфера. Киев: Наук. думка. 1982. 264 с.
- Корочкин Л. И. Проблемы эволюции и книга А. Лима-де-Фариа // Лима-де-Фариа А. Эволюция без отбора. М.: Мир. 1991. С. 378–408.
- Крик Ф. Жизнь как она есть: её зарождение и сущность. М.: Ин-тут компьютерных исследований. 2002. 160 с.
- Кунин Е. В. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: Центрполиграф. 2014. 527 с.
- Лазовская Е. Макс Планк, сплайсинг и футбол // Наука и жизнь. 2006. № 10. С. 2–14.
- Лунный А. Н. Неразрывность понятий «Абиогенез» и «Эволюция»: если невозможен первый, то теряет смысл и материалистическая «научность» второй // Сб. матер. VII научно-практической образовательной конференции (28 апреля – 3 мая 2014 г.). Ярославль: ИД «Канцлер». 2015. С. 22–46.
- Майр Э., Айала Ф. и др. Эволюция: тематический выпуск журнала «Scientific American». М.: Мир. 1981. 264 с.
- Марков А. В. В поисках начала жизни // Природа. 2015. № 1. С. 3–13.
- Маттик Д. Тайна программирования сложных организмов // В мире науки. 2005. № 1. С. 28–35.
- Медников Б. М. Парадокс миллиона обезьян // Медников Б. М. Избранные труды:

Организм, геном, язык. М.: КМК. 2005. С. 326–331.

- Мейен С. Путь к новому синтезу, или куда ведут гомологические ряды? // Мейен С. В. Листья на камне: Размышления о палеоботанике, геологии, эволюции и путях познания живого / Тр. Геол. ин-та РАН. Научно-популярная серия. Вып. 1. М.: ГЕОС. 2001. С. 404–415.
- Мухин Л. М. Условия на поверхности Земли 4–4,6 млрд. лет назад. Первичные синтезы // Проблемы происхождения жизни. М.: ПИН РАН. 2009. С. 120–128.
- Наточин Ю. В. Эволюционная физиология на пути от «Происхождения видов» к происхождению жизни // Чарльз Дарвин и современная биология: Тр. Междунар. науч. Конф. 21–23 сент. 2009 г. Санкт-Петербург. СПб.: Нестор-История. 2010. С. 321–337. (819 с.).
- Никитин М. А. Проблема хиральной чистоты // Химия и жизнь. 2013. №3. С. 22–25.
- Опарин А. И. О сущности жизни // Вопросы философии. 1979. № 4. С. 35–46.
- Опарин А. И., Фесенков В. Г. Жизнь во Вселенной. М.: Изд-во АН СССР. 1956. 224 с.
- Пичугина Т. Великая тайна жизни // Вокруг света. 2005. № 3. С. 78–91.
- Поннамперума С. Происхождение жизни. М.: Мир. 1977. 176 с.
- Розанов А. Ю. Когда появилась жизнь на Земле? // Вестник РАН. 2010. Т. 80. № 5/6. С. 533–541.
- Рухленко И. Что ответить дарвинисту? В 2 ч. Ч. 2. Т/О «НЕФОРМАТ». Montreal: Изд-во Accent Graphics Communications. 2015.
- Симаков Ю. Г. Животные анализируют мир. М.: Рипол-Классик. 2003. 224 с.
- Симаков Ю. Г. Живые приборы. М.: Знание. 1986. 176 с.
- Сойфер В. Н. Репарация генетических повреждений // Соросовский образовательный журнал. 1997. №8. С. 4–13.
- Спирин А. С. Биосинтез белков, мир РНК и происхождение жизни // Вестник РАН. 2001. Т. 71. № 4. С. 320–328.
- Спирин А. С., Гаврилова Л. П. Рибосома. М.: Наука. 1971. С. 152. (254 с.).
- Струминский В. В. Как и зачем возникла жизнь на Земле и других планетах космоса // Вестник РАН. 1995. № 1. С. 38–51.
- Тарасов Е. К. Случайна ли эволюция? // Химия и жизнь. 1981. № 2. С. 57–65.
- Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология. В 3 т. М.: Мир. 2004. Том 1. С. 10 (454 с.)
- Тихонов А. Н. Молекулярные моторы // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 6. С. 8–16.
- Тэйлор Й. В умах людей. Дарвин и новый мировой порядок. Симферополь: ХНАЦ. 2001. 552 с.
- Уолд Дж. Происхождение жизни // Физика и химия жизни: Сб. статей журн. «Scientific American». М.: Иностран. лит.-ра. 1960. С. 9–31.
- Фаворова О. О. Сохранение ДНК в ряду поколений: репликация ДНК // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 4. С. 11–17.
- Фолсом К. Происхождение жизни. М.: Мир. 1982. 160 с.
- Харченко Л. Н. Современная концепция естествознания: курс лекций. М.-Берлин: Директ-Медиа. 2015. 329 с.
- Хлебосолов Е. И. Лекции по теории эволюции. М.: УЦ «Перспектива». 2004. 264 с.
- Чайковский Ю. В. Эволюция. М.: Центр системных исследований ИИЕТ РАН. 2003. 472 с.

- Чек Т. РНК–фермент // В мире науки. 1987. № 1. С. 26–36.
- Чубенко А. Рукотворная жизнь // Наука и жизнь. 2005. № 9. С. 16–21.
- Шапиро Р. У истоков жизни // В мире науки. 2007. № 10. С. 21–29.
- Швехгеймер М. А., Кобраков К. И. Органическая химия. М.: Высш. шк. 1994. С. 220. (543 с.).
- Шишлова А. Свет далёких звёзд и жизнь на земле // Наука и жизнь. 2000. № 6. С. 24–30.
- Шустова О. Б., Сидоров Г. Н. Эволюционизм и креационизм: наука или философия? Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ. 2009. 200 с.
- Энгельс Ф. Диалектика природы. М.: Гос. изд-во полит. лит. 1953. 328 с.
- Юдасин Л. С. Перипетии жизни. М.: Знание. 1991. 192 с.
- Юнкер Р., Шерер З. Еволюція: критичний підручник. Тернопіль: Мандівець. 2013. 332 с.
- Юнкер Р., Шерер З. История происхождения и развития жизни. СПб.: Кайрос. 1997. 262 с.
- Яблоков А. В., Юсуфов А. Г. Эволюционное учение. М.: Высшая школа 2006. 310 с.

Читайте в других частях серии

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВИДОВ. Эволюционная теория Чарльза Дарвина: история возникновения и первая критика



Вот уже более 150 лет эволюционная теория происхождения видов Ч. Дарвина пользуется большой популярностью в научном мире. Однако волна критики, возникшая ещё во времена Дарвина, продолжает оказывать ей серьёзное сопротивление. Какие вопросы сегодня остаются нерешёнными? С какими проблемами сталкиваются современные учёные-эволюционисты и каких успехов достигли? Удалось ли зафиксировать процесс видообразования? Какие открытия сделаны в области палеонтологии и что дала эта наука для решения вопросов происхождения разнообразных форм жизни? Этим и многим другим вопросам посвящена подсерия книг «Происхождение видов».

В её первой части «Эволюционная теория Чарльза Дарвина: история возникновения и первая критика» раскрывается история зарождения и развития эволюционных взглядов на происхождение видов. Подробно описываются события, подготовившие почву для будущей теории и послужившие толчком к её развитию и становлению. Кому принадлежит первенство в открытии механизма эволюции: Ч. Дарвину или А. Уоллесу? Как Ч. Дарвин писал свою знаменитую книгу «Происхождение видов» и какой была первая реакция на её выход со стороны известных учёных и общественных деятелей? Что говорили критики и как на их замечания отвечал Дарвин? Где и как проходили дебаты? Кто стал соратником Дарвина, а кто — противником? Смогла ли современная наука разрешить тогдашние разногласия? В завершении книги рассматривается вопрос справедливости отождествления естественного отбора и искусственной селекции, принцип действия которой Дарвин спроецировал на дикую природу и использовал для обоснования своей теории. Здесь мы коснёмся проблемы происхождения культурных растений и домашних животных, расскажем об особенностях селекционной работы, возможностях и границах изменчивости видов.

Книга содержит множество справочной информации и разъясняет сложные определения и понятия. Издание будет полезно преподавателям и учащимся средних и высших учебных заведений, а также всем тем, кто интересуется вопросами мироздания.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВИДОВ. Эволюционная теория Чарльза Дарвина: борьба за существование и естественный отбор



Книга является продолжением подсерии «Происхождение видов», в которой рассказывается о главных движущих факторах эволюции: борьбе за существование и естественном отборе. Вы узнаете об особенностях геометрической прогрессии размножения видов, о том, как организмы регулируют численность своей популяции, и что происходит, когда регуляторные механизмы перестают работать. Мы подробно осветим вопросы, связанные с ролью естественного отбора в происхождении разнообразных форм живых существ, маскировки, мимикрии, яркой и покровительственной окраски; коснёмся загадки происхождения сложных органов, требующих для своего возникновения ряда одномоментных изменений; подробно рассмотрим примеры таких органов и проанализирует сложности, возникающие при их объяснении. Вы узнаете, как Дарвин относился к теории Ламарка и какое влияние она оказала на его теорию. Какие примеры заста-

вили Дарвина сформулировать свою знаменитую теорию пангенезиса. Кто такой Флеминг Дженкин и почему его аргументы против теории эволюции получили название «кошмара Дженкина»? А так же: как обстоят дела с переходными формами и проблемой их жизнеспособности на переходных этапах? Существуют ли приспособления, полезные другим видам? Зачем животным понадобилась узкая пищевая специализация? Может ли естественный отбор довести приспособление до совершенства? И многое другое.

Особое место в книге отведено вопросу доказательств естественного отбора. Удалось ли учёным зафиксировать изменения видов под влиянием этого фактора эволюции? Какие опыты были поставлены и какие результаты получены? Что говорят современные учёные о наиболее ярком и наглядном доказательстве естественного отбора — изменении окраски берёзовой пяденицы в промышленных районах Англии? Какие ещё примеры фигурируют в учебной литературе? На что способен естественный отбор и какова его сила? На эти и многие другие вопросы вы найдёте ответ в этой части.

Книга содержит множество справочной информации и огромное количество примеров из жизни животных и растений. Издание будет полезно преподавателям и учащимся средних и высших учебных заведений, а также всем тем, кто интересуется вопросами мироздания.